

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Возобновляемые источники энергии»

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

**Методические указания к выполнению лабораторных
работ по курсу «Электротехнические материалы»
для студентов направления «Электроэнергетика»**

БИШКЕК 2011

«РАССМОТРЕНО»
на заседании кафедры
«Возобновляемые источники энергии»
Прот. № 8 от 25.05.2011 г.

«ОДОБРЕНО»
Методическим советом
энергетического факультета
Прот. № 9 от 27.05.2011 г.

Составители: АКПАРАЛИЕВ Р.А., МЕДЕРОВ Т.Т.

УДК 621.311

Электротехнические материалы. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электротехнические материалы» для студентов направления «Электроэнергетика» / КГТУ им. И.Раззакова; сост.: Р.А.Акпаралиев, Т.Т.Медеров. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 50 с.

Излагается методика выполнения лабораторных работ, даны схемы установок. Краткие теоретические сведения по физическим процессам, наблюдаемым в диэлектриках при воздействии внешнего электрического поля. Изложены положения по технике безопасности при работе с высоковольтным оборудованием, установленным в данной лаборатории.

Предназначены для студентов дневной, дистантной форм обучения.

Табл.: 5. Ил.: 14. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент проф. Рахимов. К.Р.

1. Материалы для вводного занятия

1.1 Введение

Необходимость включения в учебный план курса «Электротехнические материалы» определяется той исключительно важной ролью, которую играют электротехнические материалы при конструировании, изготовлении и эксплуатации самых разнообразных электротехнических и радиотехнических установок. Увеличение мощностей и напряжений электрических установок, уменьшение габаритных размеров и веса электрических машин и аппаратов, необходимость работы машин, аппаратов и других устройств в условиях сильно повышенной или весьма низкой температуры, повышенной влажности, радиоактивного облучения, воздействия вибрации и пр., повышение частоты, улучшение стабильности настройки колебательных контуров и т.д. предъявляют все более жесткие требования к электротехническим материалам и вызывают необходимость разработки и внедрения новых, более совершенных типов материалов. Современные мощные электрические машины, сверхдальние линии электропередачи и аппаратуры высокого напряжения, полупроводниковые приборы, устройства автоматики и телемеханики вообще не могли бы быть выполнены без применения высококачественных электротехнических материалов и не могут правильно эксплуатироваться без знаний свойств и особенностей этих материалов. В ряде случаев использование особых свойств новых материалов позволяет создавать принципиально новые устройства.

Весьма важны и экономические вопросы – вопросы выбора возможно более дешевых и доступных материалов, допускающих точную и простую обработку и массовый выпуск изделий со строго определенными свойствами.

Применение новых материалов позволяет существенно удешевлять технологию и повышать производительность труда при изготовлении различных изделий, улучшать качественные показатели и эксплуатационную надежность оборудования, уменьшать габаритные размеры и вес изделий, расширять диапазон допускаемых рабочих температур и т.п.

Большое внимание должно быть уделено также вопросам экономичного расходования меди, никеля, олова, свинца и других цветных металлов в народном хозяйстве.

1.2. Теоретические сведения к курсу

Широкое развитие электротехники невозможно без применения новых, более совершенных электротехнических материалов, в особенности электроизоляционных, отвечающих требованиям все повышающихся рабочих напряжений.

Правильный выбор диэлектрика для каждого конкретного случая не может быть произведен без знания его свойств, подтвержденных опытом, в силу чего возникла необходимость экспериментального исследования процессов, проис-

ходящих в диэлектриках, находящихся под воздействием электрического поля при различных внешних условиях (температура, влага, давление и пр.)

Успешное решение задач, выдвигаемых бурно развивающейся электротехнической промышленностью, ставит перед каждым инженером-электриком требования – отчетливо понимать процессы, происходящие в диэлектриках во время их работы в электрическом поле, уметь экспериментально исследовать влияние на диэлектрик различных внешних факторов, правильно выбирать в каждом отдельном случае электроизоляционный материал.

Поэтому, теоретическому изучению курса «Электротехнические материалы» должна сопутствовать работа в лаборатории, выполняя которую студент на практике проверяет правильность усвоенных им теоретических положений.

Приступая к выполнению лабораторных работ, студент должен иметь четкое представление о поставленной перед ним задачей и физических явлениях, которые предстоит исследовать. Он должен также понимать, какими способами производятся эти исследования и хорошо знать устройство приборов и аппаратов, которыми предстоит пользоваться при выполнении работы. Все это говорит о необходимости заблаговременной подготовки студента к занятиям в лаборатории.

Для облегчения этой подготовки в описании каждой лабораторной работы приводятся краткие теоретические сведения по рассматриваемому явлению или процессу. Однако, приводимые теоретические сведения по объему содержащейся в ней информации пригодны лишь для предварительного ознакомления с исследуемыми вопросами и сознательного выполнения работы. Для фундаментального изучения явления или процесса необходимо пользоваться конспектом лекций или учебником.

Так как часть работ выполняется на установках высокого напряжения, то студенты перед началом работы в лаборатории должны изучить основные правила техники безопасности при работах на установках высокого напряжения, правила оказания первой помощи пострадавшим от воздействия напряжения, правила оказания первой помощи пострадавшим от воздействия электрического тока.

1.3. Основные правила техники безопасности при работах на установках высокого напряжения (выше 1000 В)

1. К установкам высокого напряжения относятся те устройства, в которых напряжение относительно земли может превышать 1000 В.

2. Все лица, работающие или обучающиеся в лаборатории на установках высокого напряжения, обязаны твердо знать и строго соблюдать требования техники безопасности к установкам высокого напряжения, инструкцию по технике безопасности, а также правила освобождения пострадавшего от действия тока и оказания ему первой помощи.

3. Студенты не имеют права самостоятельно работать на установках высокого напряжения и допускаются к работе в лаборатории только в присутствии преподавателя.

4. Работа на установках высокого напряжения должна производиться не менее, чем двумя лицами, одно из которых должно иметь квалификацию, дающую право на самостоятельное производство работы на установках высокого напряжения.

5. Действующая высоковольтная установка должна во всех случаях обеспечить безопасное выполнение работ. Для этой цели служат ограждения, защитное заземление, заземляющие или закорачивающие штанги, блокировки, сигнализация, два возможных разрыва (рубильники) в цепи питания высоковольтной установки, предупреждающие и запрещающие плакаты.

6. Каждая высоковольтная установка должна иметь свою специально составленную инструкцию по технике безопасности. Инструкция должна содержать:

- а) порядок включения и выключения установки;
- б) перечень запрещенных действий;
- в) краткое перечисление защитных средств и норм (ограждения, заземление, блокировка и т.п.) и правила их использования;
- г) описание действий в аварийных случаях.

7. Часто меняющаяся обстановка в лаборатории обязывает не полагаться на защитные устройства, и всякий раз, прежде, чем приступить к работе необходимо убедиться в:

- а) наличии инструкции по технике безопасности для данной установки;
- б) исправности схемы блокировки, переносных заземлителей постоянного заземления;
- в) исправности ограждений и правильности их установки;
- г) наличии предупреждающих плакатов;
- д) отсутствию за ограждением людей.

8. Включая высокое напряжение, необходимо предварительно громко предупредить: «Включаю высокое напряжение».

9. В процессе работы при включенной установке категорически запрещается:

- а) заходить за ограждение;
- б) передвигать ограждения;
- в) протягивать руки за ограждения;
- г) закорачивать или отключать блокировочные устройства;
- д) снимать запрещающие и предупреждающие плакаты;
- е) оставлять установку, находящуюся под напряжением, без присмотра.

10. После выключения напряжения, прежде, чем подойти к оборудованию, необходимо заземлить части установки, которые были или могут быть под высоким напряжением.

11. Напряжение должно быть снято и установка заземлена, если возникают сомнения в исправности установки или защитных средств.

12. При временном прекращении работы, переключениях в схеме и ремонтных работах установка должна быть отключена от источника питания и на рубильнике вывешен плакат: «Не включать – работают люди!»

13. После окончания работы необходимо:

- а) заземлить части установки, бывшие под напряжением;
- б) снять предупреждающие или запрещающие плакаты;
- в) принять меры к предупреждению возможности случайного (ошибочного) включения установки под напряжением.

14. При работе с высоковольтными установками недопустимо присутствие в помещении лаборатории посторонних или случайных лиц.

Настоящие правила составлены на основании типовых правил техники безопасности при работе студентов в учебных лабораториях и мастерских.

1.4. Требования, предъявляемые к подготовке лабораторных работ

К следующему занятию в лаборатории студент может быть допущен лишь после защиты лабораторной работы, выполненной им на предыдущем занятии и сдачи коллоквиума по работе, которую предстоит выполнить.

Студентам необходимо уяснить физический смысл и практическую значимость таких показателей свойств диэлектриков, как относительная диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление (объемное и поверхностное), тангенс угла диэлектрических потерь и электрическую прочность (пробивное напряжение) диэлектрика. Надо знать размерности и единицы измерения этих величин и формулы, связывающие их с геометрическими размерами и электрическими характеристиками изделия (полное, объемное и поверхностное сопротивления, емкость, полные и удельные диэлектрические потери, добротность, пробивное напряжение изоляции). Важно разобраться в характере зависимости этих характеристик от различных факторов (температуры, влажности, величины и частоты приложенного к диэлектрику напряжения и пр.) для различных видов диэлектриков (для газов также важна зависимость электрической прочности от давления).

Необходимо ясно представлять различия в строении молекул и в электрических, физико-химических свойствах полярных (дипольных) и неполярных (нейтральных) диэлектриков. Следует четко различать особенности чисто электрического, теплового (электротеплового), электрохимического и ионизационного пробоя диэлектриков.

Необходимо также обратить большое внимание на особенности высокомолекулярных соединений (линейного и пространственного строения), синтетические полимеры, в частности, обладающие повышенной нагревостойкостью (кремнийорганические и фторорганические), процессы их пропитки и сушки, пластические массы.

К отчету о выполненной лабораторной работе предъявляются следующие требования:

1. Отчет должен содержать исчерпывающие данные как о цели работы,

Так и о ее результатах в следующей последовательности:

- а) задание;
- б) схема установки;
- в) описание методики измерений;
- г) числовой материал эксперимента, сведенный в таблицы;
- д) графики, построенные на основании числового материала эксперимента;
- е) общие выводы о работе и заключение о качестве исследованных материалов.

2. Текст отчета должен быть написан чернилами, без помарок и исправлений, разборчивым почерком с логическим изложением существа вопроса.

3. Графики и схемы должны быть вычерчены тушью, чернилами или цветными карандашами на миллиметровой бумаге с отчетливым нанесением экспериментальных точек.

4. Каждый график обязательно должен сопровождаться теоретическим обоснованием причин, влияющих на ход его построения, для чего в процессе составления отчета студент обязан по литературным источникам детально ознакомиться с материалом, который был объектом его исследований в лаборатории.

К отчету о лабораторной работе должны быть приложены теоретическое обоснование причин изменения характеристик материалов, происходящих в результате воздействия на них различных внешних факторов, и графики этих характеристик.

В настоящем руководстве рассмотрены следующие лабораторные работы:

1. Определение удельных сопротивлений твердых диэлектриков.
2. Определение относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь диэлектриков при частоте 50 Гц.
3. Исследование физических и электрических свойств жидких диэлектриков.
4. Определение электрической прочности твердых диэлектриков.
5. Исследование электрической прочности газообразных диэлектриков.
6. Исследование магнитных характеристик ферромагнитных материалов с помощью осциллографа.
7. Изучение диэлектрических материалов.

Электроды, применяемые для электрических испытаний диэлектриков

При испытании электроизоляционных материалов решающее значение имеют тип и форма электродов, посредством которых на испытуемый образец налагается напряжение.

Объясняется это тем, что диэлектрическая прочность диэлектриков в большей степени зависит от формы приложенного к нему электрического поля, в то время как последняя, в частности, определяется формой электродов.

Типы электродов, применяемых при испытаниях твердых диэлектриков, могут быть различны: жидкостные, металлические, графитовые и т.п. Однако,

какой бы тип электродов для данного опыта, требования к нему предъявляются следующие:

- 1) воспроизводимость результатов;
- 2) отсутствие влияния материала электродов на материал испытуемого диэлектрика;
- 3) быстрота изготовления электродов и их наложение на образец диэлектрика;
- 4) отсутствие вредного влияния материала электродов на здоровье работающего.

Большинство электрических испытаний диэлектриков сводится к измерению либо величины тока, протекающего через исследуемый диэлектрик, либо величины напряжения, при котором происходит пробой диэлектрика.

Так как измеряемые токи достаточно малы, существенное значение приобретает величина переходного сопротивления между электродом и испытуемым диэлектриком. Для получения наиболее близких к истине результатов, переходное сопротивление должно быть минимальным, т.е. необходимо добиться электрического контакта между диэлектриком и электродом.

Кроме того, учитывая, что определение характеристик диэлектриков производится в большинстве случаев при повышенных напряжениях, следует иметь в виду, что в случае неплотного прилегания электрода к диэлектрику между ними могут развиваться ионизационные процессы, что внесет заметные искажения в результаты измерений.

Малое переходное сопротивление дают жидкостные электроды, т.е. электроды, у которых непосредственный контакт с испытуемым образцом осуществляется электропроводящей жидкостью (ртуть, подкисленная вода и пр.).

При работе с ртутью, жидкостными электродами нельзя производить испытания так быстро, как это возможно с другими типами электродов.

Кроме того, применяемая электропроводящая жидкость не должна оказывать вредного влияния на материал испытуемого образца, т.е. его разъедать, растворять, окислять и т.п. Поэтому жидкостные электроды применяются сравнительно редко.

Хороший электрический контакт с весьма незначительным переходным сопротивлением дают электроды. Нанесенные на диэлектрик катодным распылением или, если это допускает диэлектрик, вжиганием в него металла. Однако, процесс препарирования таких образцов (нанесение на них электродов) довольно сложен и длителен, что ограничивает степень применения таких электродов. Все же в случае необходимости проведения точных измерений, этот вид электродов довольно широко распространен.

Наиболее часто применяются электроды, вырезанные из тонкой алюминиевой фольги и припертые к поверхности диэлектрика до возможно лучшего с ним контакта на тонком слое вазелина или трансформаторного масла. Этот вид электродов применяется особенно широко при серийных испытаниях, хотя точность воспроизведения результатов при использовании таких электродов меньше, чем при жидкостных или металлических, нанесенных распылением или выжиганием.

Достаточно точное воспроизведение результатов дают электроды, представляющие собой смесь порошка и электроизоляционного лака.

Однако, к недостаткам этого вида электродов следует отнести довольно значительное время, требующееся для нанесения графитной смеси на образец и последующего ее высыхания.

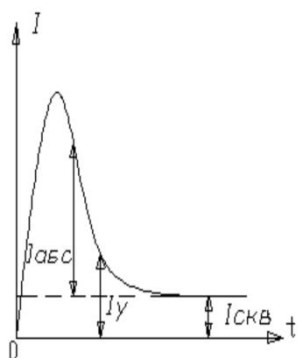
При измерениях пробивного напряжения твердых диэлектриков величина переходного сопротивления между электродами и испытуемым образцом уже не имеет того значения, которое оно имеет при измерениях малых токов, в силу чего в этом случае наиболее часто применяются обычные массивные электроды из латуни или стали.

Лабораторная работа 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Целью работы является изучение методов и приобретение навыков определения удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений диэлектриков.

Краткие теоретические сведения

Электроизоляционные материалы по своему назначению при воздействии постоянного напряжения совершенно не должны пропускать электрический ток. Однако применяемые на практике электроизоляционные материалы за счет наличия свободных зарядов, хотя и в чрезвычайно малом количестве, обладают некоторой проводимостью. Свойство вещества проводить под действием не изменяющегося во времени электрического поля не изменяющийся во времени электрический ток называется **электропроводностью**.



Различают объемную и поверхностную электрические проводимости диэлектрика. Объемная проводимость диэлектрика равна отношению объемного тока к приложенному напряжению. Поверхностная проводимость равна отношению поверхностного тока к приложенному напряжению. Величины, обратные объемной и поверхностной электрических проводимостей, характеризуют собой объемное и поверхностное электрические сопротивления диэлектрика.

Рис.1. Зависимость тока через диэлектрик от времени

Зависимость тока приложении постоянно-напряжения показана

название тока утечки I_u . Ток утечки содержит постоянную и переменную составляющие: постоянная составляющая образует сквозной ток диэлектрика $I_{скв}$, обусловленный упорядоченным перемещением свободных носителей электрического заряда; переменная составляющая тока утечки - ток аб-

утечки через диэлектрик при го во времени электрического на рис. 1. Этот ток получил

сорбции $I_{\text{абс}}$ - обусловлена смещением связанных электрических зарядов диэлектрика под действием электрического поля.

Изменение переменной составляющей тока утечки I_v может протекать быстрее или медленнее в зависимости от того, какими видами электрической поляризации обладает диэлектрик. Если диэлектрику присущи медленно протекающие виды поляризации, то спадание тока абсорбции в таком диэлектрике будет медленное, в противном же случае - быстрое. Поэтому, определяя при постоянном напряжении проводимость диэлектрика по сквозному току, следует учитывать абсорбции со временем и за величину сквозного тока принимать ток, установившийся в диэлектрике спустя определенное время. Так, например, для измерения сквозного тока: через твердые диэлектрики типа гетинакс, текстолит, асбестоцемент, лакоткань и другие это время берется равным 1 мин.

Электрическая проводимость диэлектрика равна $G = I_{\text{скв}}/U$. В системе СИ единицей электрической проводимости является сименс (См), а электрического сопротивления - Ом.

Для сравнительной оценки различных диэлектриков в технике принято пользоваться удельными величинами электрического сопротивления или электрической проводимости. Для плоского образца $p_v = R_v (S/h)$, где R_v - объемное электрическое сопротивление образца, Ом; S - площадь электрода, м^2 и h - толщина образца, м. Удельное поверхностное сопротивление равно сопротивлению квадрата поверхности материала $p_s = R_s(b/l)$, где R_s - поверхностное электрическое сопротивление материала между параллельно поставленными электродами длиной l , м, отстоящими друг от друга на расстоянии b , м.

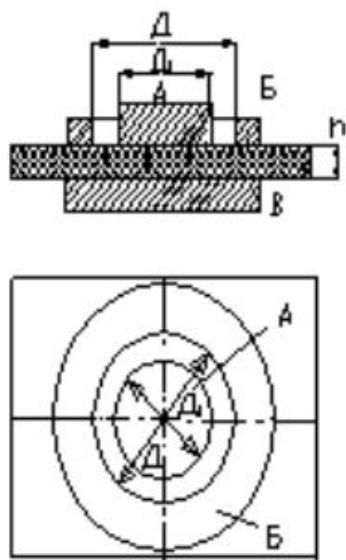


Рис. 2. Кольцевые электроды для измерения сопротивления твердых диэлектриков методом непосредственного отключения

Удельное объемное сопротивление электроизоляционных материалов зависит от температуры. С повышением температуры p_v уменьшается по экспоненциальному закону, который в пределах температур, встречающихся на практике, может быть записан в виде $p_{vt} = p_{vo}e^{-at}$, где p_{vo} - удельное объемное сопротивление при начальной температуре, a - коэффициент, зависящий от природы материала, характеризующий скорость снижения сопротивления диэлектрика с ростом температуры.

Поверхностная электропроводность обусловлена присутствием влаги на поверхности диэлектрика. Однако, поскольку сопротивление абсорбированной пленки влаги связано с природой материала, на поверхности которого она находится, то поверхностную электропроводность рассматривают как свойство самого диэлектрика. Удельная поверхностная электрическая проводимость тем ниже, чем меньше полярность вещества и влажность окружающего его воздуха, чем чище поверхность диэлектрика, чем лучше она отполирована.

Измерение удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений производится по ГОСТ 6433.2-71 и сводится к измерению R_v и R_s .

Определение сопротивлений диэлектриков в зависимости от их величин производится различными методами, схемами и приборами.

Для определения сопротивлений, не превышающих 10^{11} - 10^{12} Ом, наибольшее широкое применение нашел метод непосредственного отключения, при сопротивлениях не выше 10^{13} - 10^{14} Ом – метод заряда конденсатора, а при величинах сопротивлений 10^{14} - 10^{17} Ом и выше применяют электронные измерительные приборы – тераметры, в которых измеряемый ток I_v или I_s усиливается до необходимой величины.

Сущность метода непосредственного отключения заключается в следующем: на испытуемый образец, имеющий три электрода (рис. 2), подается постоянное напряжение, измеряемое электростатическим вольтметром. Ток, проходящий через диэлектрик, измеряется зеркальным гальванометром, снабженным в целях регулирования его чувствительности универсальным шунтом. Кроме того, с помощью шунта можно предохранить гальванометр от перегрузки его током. Регулируя шунтом ток в гальванометре и фиксируя число делений отклонения «зайчика» на его шкале и знаменатель дроби шунтового числа, можно определить величину тока, протекающего через испытуемый образец по формуле

$$I = a C_g n,$$

где a - число делений шкалы гальванометра, на которое отклонился "зайчик" на шкале гальванометра спустя 1 мин после подачи на образец напряжения; C_g – динамическая постоянная гальванометра, т.е величина тока в амперах, вызывающая отклонения "зайчика" на шкале гальванометра на одно деление при расстоянии между гальванометром и шкалой, принятом на данной установке, n - знаменатель дроби шунтового числа, указывающий, какая часть от полного тока I прошла через гальванометр.

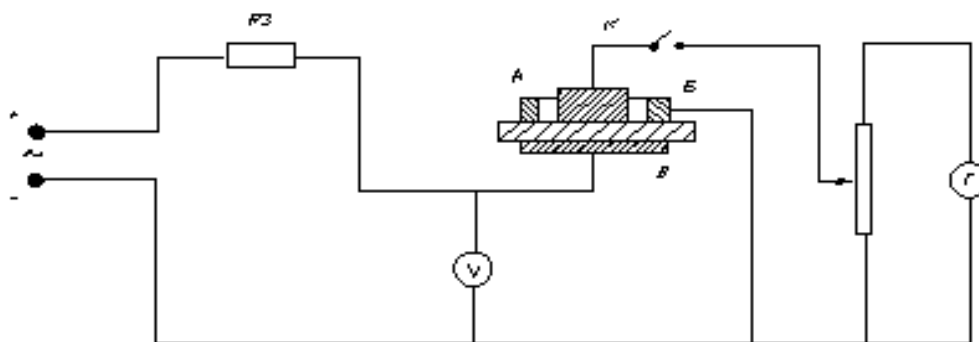


Рис. 3. Принципиальная схема для определения объемного сопротивления диэлектриков
 Величина сопротивления образца определяется по формуле

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{a C_g n}$$

Для измерения объемного сопротивления применяется схема, приведенная на рис.3. Из которой видно, что в результате заземления охранного кольца-электрода через гальванометр потечет только объемный ток I_v . Следовательно $R_v = U/I_v$.

Для определения поверхностного сопротивления применяется схема, приведенная на рис.4, из которой видно, что вследствие заземления электрода В через гальванометр потечет поверхностный ток I_s . Поэтому $R_s = U/I_s$.

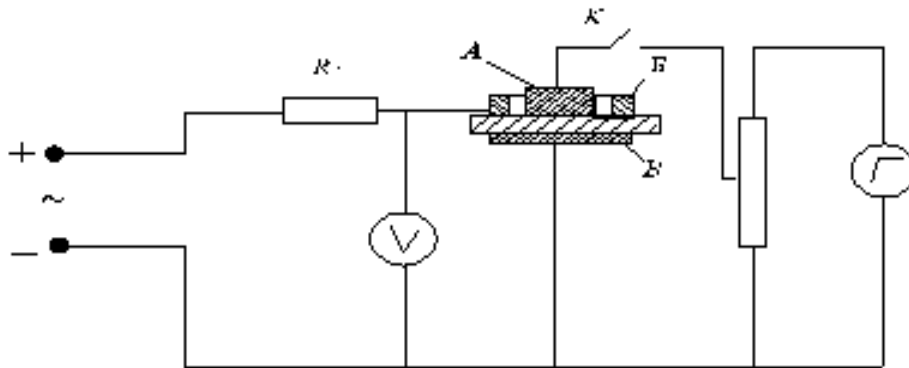


Рис. 4. Принципиальная схема для определения поверхностного сопротивления диэлектриков

Материальное обеспечение

Устройство установки для определения удельных сопротивлений диэлектриков при постоянном напряжении соответствует схеме, представленной на рис. 5.

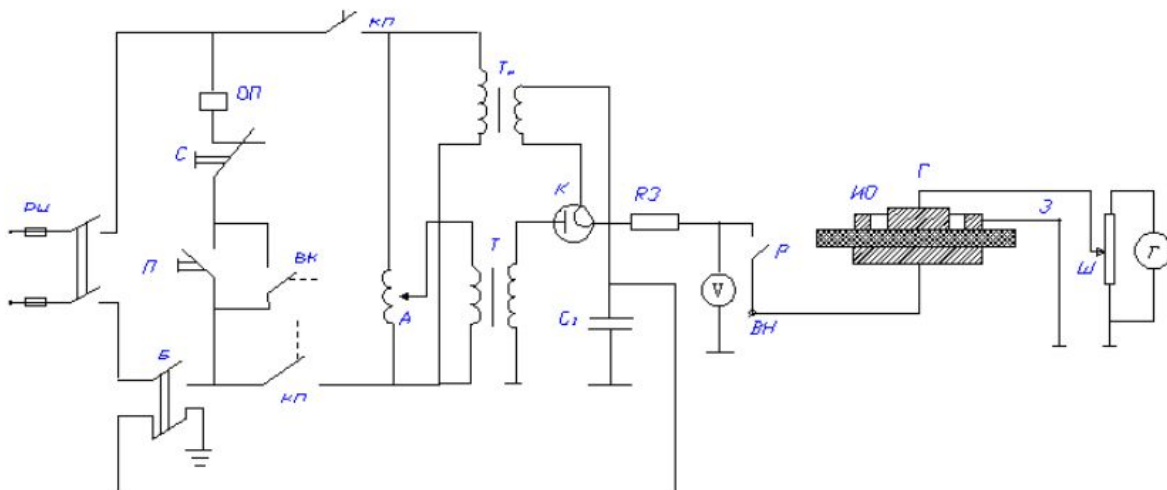


Рис. 5. Схема установки для определения удельных сопротивлений диэлектриков: РЩ - щитовой рубильник; Б - дверные блок-контакты; КП - контакты магнитного пускателя; ВК - вспомогательный контакт магнитного пускателя; ОП - обмотка магнитного пускателя; П - кнопка "пуск" магнитного пускателя; С - кнопка "стоп" магнитного пускателя; А - лабораторный автотрансформатор; Т - высоковольтный трансформатор; Тн - трансформатор накала кенотрона; К - кенотрон; Q - конденсатор выпрямителя; R₃ - защитный резистор; V - вольтметр; Р - рубильник; ИО - испытуемый образец; Вн - клемма "высокое напряжение"; Г - клемма "гальванометр"; З - клемма "земля"; Г - гальванометр; Ш - шунт гальванометра

Источником постоянного тока установки является выпрямитель, состоящий из высоковольтного трансформатора T , кенотрона K с трансформатором накала T_n и конденсатора C_1 , служащего для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Трансформатор T присоединяется к сети через автотрансформатор A , предназначенный для регулирования напряжения, подаваемого на трансформатор выпрямителя. Этим достигается регулирование величины выпрямленного напряжения, снимаемого с конденсатора C_1 .

Испытуемый образец может располагаться либо внутри камеры из органического стекла, либо в термостате, если необходимо снять температурную зависимость. Дверцы камеры и термостата снабжены блок-контактами B . При открывании любой дверцы, когда открывается доступ к клемме "высокое напряжение", верхний (на схеме) блок-контакт размыкается и установка отключается от сети. Одновременно замыкается нижний блок-контакт и конденсатор C_1 разряжается. Следовательно, при любой открытой дверце (камеры из оргстекла или термостата) установка работать не будет, напряжение на образец не подается, и прикосновение к клемме "высокое напряжение" безопасно.

Внутри камеры и в термостате имеется изолированный металлический столик, на который кладется испытуемый образец таким образом, чтобы центральный и кольцевой электроды A и B (см. рис.2) были расположены сверху. Электрод A всегда присоединяется к клемме "гальванометр", а электроды B и C – к клеммам "высокое напряжение" или "земля" в зависимости от цели испытания, т.е. при измерении объемного сопротивления согласно рис.3.(то же и на рис.5), а при измерении поверхностного – согласно рис.4.

Ток через образец измеряется зеркальным гальванометром магнитоэлектрической системы, снабженным универсальным шунтом. Напряжение на образце измеряется вольтметром с малой потребляемой мощностью. Установка снабжена защитным резистором R_3 и рубильником P для подачи напряжения на образец.

Контрольные вопросы

1. Что такое удельное объемное и удельное поверхностное электрическое сопротивление диэлектриков? Каковы методы их измерения?
2. Чем обусловлена электропроводность диэлектрика?
3. Объясните влияние влажности и температуры на ρ_v и ρ_s .
4. Как скажется на результатах вычисления ρ_v отсутствие заземления охранного кольца на исследуемом образце?
5. Как скажется на результатах вычисления ρ_s отсутствие заземления нижнего электрода B у исследуемого образца?
6. Почему принято определить сопротивление диэлектрика при постоянном напряжении?
7. Выведите формулу для расчета ρ_s .

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ЧАСТОТЕ 50Гц

Целью работы является определение величины, диэлектрической проницаемости образцов некоторых диэлектриков и снятие зависимостей $\operatorname{tg}\delta$ от величины приложенного напряжения для конденсаторов, у которых в качестве диэлектрика служат стекло, пластмасса (гетинакс) и два стекла с воздушным промежутком. Последний образец имитирует твердую изоляцию, содержащую газовые включения.

Краткие теоретические сведения

Важнейшим свойством диэлектриков является их способность под действием внешнего электрического поля поляризоваться (связанные электрические заряды ограничено смещаются в направлении действующих сил поля, вызывая поляризацию диэлектрика). Свободные электрические заряды, содержащиеся в диэлектрике в небольшом количестве под действием поля приобретают упорядоченное перемещение, образуя сквозной ток. Протекание этих процессов сопровождается рассеиванием некоторой части энергии внешнего электрического поля в диэлектрике. Эта энергия преобразуется в тепловую. Обычно говорят о "затрате" или "потерях мощности", имея в виду среднюю за некоторый промежуток времени электрическую мощность, рассеивающуюся в веществе (диэлектрические потери).

Применяемые электроизоляционные материалы в неодинаковой степени способны к подобному рассеиванию. Только идеальный диэлектрик может образовать электрическую изоляцию, через которую под действием переменного напряжения будет проходить чисто реактивный, емкостный ток. В изоляции же из реальных материалов полный ток I наряду с емкостной составляющей $I_c = I_{\text{емк}} + I'_{\text{абс}}$, будем иметь и активную составляющую $I_a = I_{\text{скв}} + I'_{\text{абс}} + I_n$, которая и определяет величину диэлектрических потерь $P = I_a U$ при переменном напряжении. Потери энергии в диэлектриках имеют место и при постоянном напряжении, значение которого равно $P = I_{\text{скв}} U$, где U - приложенное напряжение, $I_{\text{скв}}$ - сквозной ток.

Природа диэлектрических потерь обуславливается токами абсорбции, являющейся следствием поляризационных процессов и тока сквозной проводимости. Однако ввиду того, что количественно ток сквозной проводимости в диэлектриках весьма незначителен, основное влияние на величину диэлектрических потерь оказывает активная составляющая тока абсорбции, что с очевидностью вытекает из приведенной (рис.1) диаграммы токов диэлектрика, обладающего замедленными видами поляризации.

В случае высоких напряжений дополнительные потери в диэлектрике возникают вследствие ионизации газовых включений внутри диэлектрика.

При изучении поведения диэлектрика с потерями в переменном напряжении принято заменять рассматриваемый диэлектрик эквивалентной схемой конденсатора с потерями. Обычно применяют последовательную или параллельную схему замещения /1, с.51-52/.

Векторная диаграмма токов для параллельной схемы замещения диэлектрика приведена на рис. 6.

Обозначения токов: $I_{емк}$ - чисто емкостный ток; I''_{abc} - реактивная составляющая тока абсорбции; $I_{скв}$ - ток проводимости (сквозной ток); I'_{abc} - активная составляющая тока абсорбции; I_n - активный ток, обусловленный ионизационными процессами в диэлектрике (I_n наблюдается при повышенных напряжениях в диэлектриках, содержащих воздушные или газовые включения); I и δ - полный ток через диэлектрик и угол диэлектрических потерь в случае отсутствия в диэлектрике газовых включений; I' и δ' - с газовыми включениями.

Как видно из диаграммы, наличие составляющей I_a приводит к тому, что сдвиг фаз между током I и напряжением U составляет не 90° (как в случае идеального диэлектрика), а $90^\circ - \delta$.

Чем больше рассеиваемая в диэлектрике мощность, тем меньше угол сдвига фаз φ и тем больше угол δ . Угол δ называют углом диэлектрических потерь и используют его (а чаще всего функцию этого угла $\operatorname{tg}\delta$) для оценки качества диэлектриков с точки зрения потерь в них энергии.

Так как $I_a = I_c \operatorname{tg}\delta$, а $I_c = UC\omega$, то диэлектрические потери P в участке изоляции с емкостью C будут равны:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \operatorname{tg}\delta$$

Любой диэлектрик с нанесенным на него электродами, включенный в электрическую цепь, может рассматриваться как конденсатор. Заряд конденсаторов, как известно, равен $Q = CU$, где U - приложенное напряжение; C - емкость конденсатора (или вообще емкость данного участка изоляции).

Емкость изоляции зависит от геометрических размеров и конфигурации электродов и материала диэлектрика. Так, для плоского конденсатора с толщиной диэлектрика h и площадью обкладок S емкость выражается формулой.

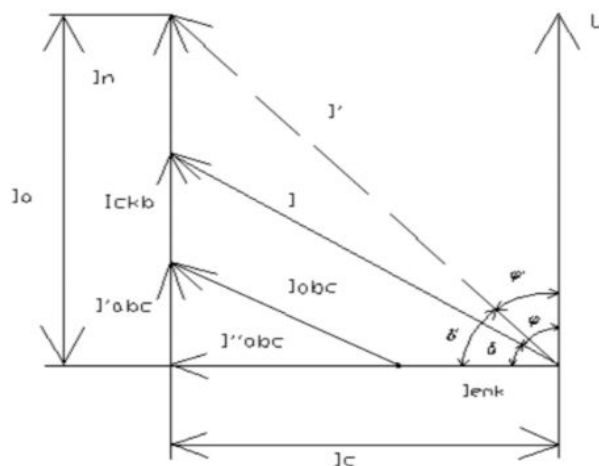


Рис. 6. Векторная диаграмма токов для параллельной схемы замещения диэлектрика

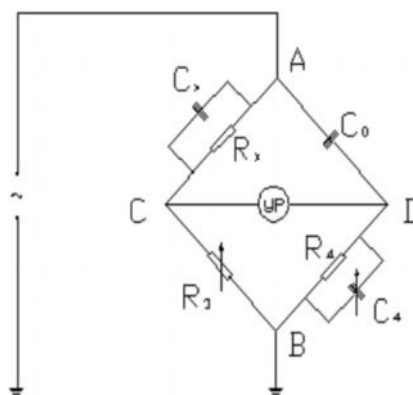


Рис.7. Схема моста Шеринга

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{h}$$

где E - относительная диэлектрическая проницаемость; E_0 - электрическая постоянная.

В системе СИ
$$\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$$

В случае цилиндрического конденсатора с радиусами внутреннего и внешнего электродов r и R соответственно и длиной каждого электрода l емкость вычисляется по формуле

$$C = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln \frac{R}{r}}$$

В тех случаях, когда емкость конденсатора или изоляции какого-либо изделия рассчитать затруднительно, ее определяют путем измерения.

Одновременное определение емкости образца C_x (следовательно, и величины диэлектрической проницаемости) и $\operatorname{tg} \delta$ при высоких напряжениях и частоте 50 Гц производится обычно с помощью четырехплечего моста, выполненного по схеме, предложенной Шерингом (рис. 7).

В плечо АС включается испытуемый образец в виде конденсатора, представленного параллельной эквивалентной схемой замещения. Плечо АД составляет образцовый воздушный конденсатор емкостью C_0 , практически не имеющий потерь мощности. Плечом ВС является переменный безреактивный резистор R_3 , а плечо ВД состоит из параллельно соединенных безреактивного резистора с известным сопротивлением R_4 и переменного конденсатора C_4 . К вершинам моста АВ подключен источник питания, а к вершинам СД, - указатель равновесия УР. Подбором соответствующих величин, R_4 и C_4 достигают равновесия моста, при котором имеет место равенство напряжений, как по величине, так и по фазе, на плечах моста, прилегающих соответственно к вершинам А и В.

Равновесие моста наступает при условии равенства произведений полных сопротивлений противоположных плеч. В комплексной форме это равенство имеет вид

$$Z_x \cdot Z_4 = Z_0 \cdot Z_3$$

Представляя каждое комплексное сопротивление в показательной форме, получим

$$Z_x \cdot Z_4 \cdot e^{j(\varphi_x + \varphi_4)} = Z_0 \cdot Z_3 \cdot e^{j(\varphi_0 + \varphi_3)}$$

Здесь Z_x, Z_4, Z_0, Z_3 - модули комплексных сопротивлений, а $\varphi_x, \varphi_4, \varphi_0, \varphi_3$ - их аргументы, фазы. Таким образом, для достижения равновесия моста нужно, чтобы соблюдались два условия

$$\begin{aligned} Z_x \cdot Z_4 &= Z_0 \cdot Z_3 \\ \varphi_x + \varphi_4 &= \varphi_0 + \varphi_3 \end{aligned}$$

Наличие двух равенств в качестве условий равновесия означает, что для уравнивания необходимо изменять два параметра (например, R_3, C_4).

В момент равновесия достигается равенство потенциалов вершин измерительной диагонали СД и указатель равновесия (нулевой индикатор) покажет отсутствие тока в ветви СД. Значения R3 и C4 в момент равновесия фиксируют и по ним вычисляют величины измеряемых параметров $tg\delta$ и C_x по формулам:

$$tg\delta = \omega \cdot R_4 \cdot C_4$$

$$C_x = C_0 \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + tg^2\delta}$$

В мостах Шеринга (например, типа Р 525) резистор R4 берется обычно равным $10000/p$. Тогда при частоте 50 Гц и емкости C4, измеренной в микрофарадах, согласно формуле (2), получим

$$tg\delta = \omega \cdot R_4 \cdot C_4 = 2\pi \cdot 50 \cdot \frac{10000}{\pi} \cdot C_4 \cdot 10^{-6} = C_4$$

т.е $tg\delta = C_4$,
где величины C_4 – выражена в мкФ.

Материальное обеспечение

Устройство установки соответствует схеме, представленной на рис.8. Питание моста осуществляется повышающим трансформатором, который вместе с испытуемым образцом и образцовым конденсатором C_0 емкостью 100 пФ составляют высоковольтную часть установки. Повышающий трансформатор с образцовым конденсатором находятся внутри пульта, так что работающий доступа к ним не имеет. Испытуемый образец помещается внутри камеры из

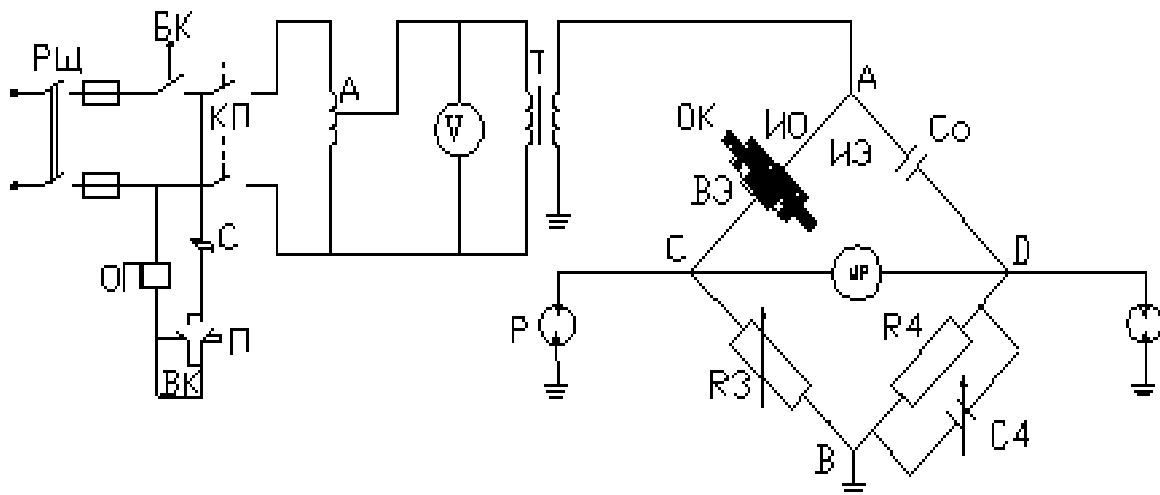


Рис. 8. Схема установки для измерения емкости и $tg\delta$: РЩ – щитовой рубильник; БК – дверной блок – контакт; КП – контакт магнитного пускателя; ОП – обмотка магнитного пускателя; П – кнопка «пуск» магнитного пускателя; С – кнопка «стоп» магнитного пускателя; А – лабораторный автотрансформатор; V – вольтметр; Т – повышающий трансформатор; ИО – испытуемый образец, имеющий емкость C_x ; ВЭ – верхний электрод; ОК – охранное кольцо; ИЭ – нижний электрод; Р – неоновый разрядник; органического стекла, дверца которой снабжена блок - контактом БК и электрическим замком

Дверцы камеры открываются только при отклонении установки от сети. Если даже по какой-либо не предусмотренной причине дверцы камеры откроются при не отключенной установке и становится возможным доступ к клемме "высокое напряжение", соединенной с вершиной А, мост блок-контакт размыкается, и установка отключается от сети. Внутри камеры имеется изолированный металлический столик, который должен быть соединен с вершиной А моста. На этот столик кладется испытуемый образец той стороной, на которой находится нижний, высоковольтный электрод. Центральный, измерительный электрод и охранное кольцо должны быть расположены на верхней стороне образца. Центральный электрод присоединен с вершиной С моста, а охранное кольцо заземляется. Практически все напряжение, приложенное к диагонали АВ, падает на плечи АС и АД, так как их сопротивление, вследствие малой величины емкостей C_0 и C_x , во много раз больше сопротивления плеч ВС и ВД. Если учесть, что вершина В заземлена, то напряжение на элементах R3 и C4, с которыми манипулирует работающий очень мало. Поэтому плечи ВС и ВД составляют низковольтную часть моста, и работа с их элементами не представляет опасности.

Регулируемые элементы моста R3 и C4 выполнены в виде декадных магазинов сопротивлений и емкостей. Для защиты оператора и схемы моста при пробое изоляции испытуемого объекта или образцового конденсатора (последний случай, правда, маловероятен) мост снабжен неоновыми разрядниками Р: при появлении высокого потенциала в вершинах С и Д, разрядники срабатывают, и эти точки соединяются с землей.

Указателем равновесия является индикатор равновесия на электронно-лучевой трубке. Если мост не уравновешен на экране осциллографа появляется изображение в форме ЭЛЛИПСА. Если уравновесить мост по реактивной составляющей, эллипс переходит в прямую наклонную линию; при равновесии также и по активной составляющей прямая линия занимает горизонтальное положение. Таким образом, по изображению на экране можно судить, по какой составляющей - реактивной или активной - необходимо уравновесить мост. Чувствительность индикатора равновесия зависит от чувствительности электронно-лучевой трубки и коэффициента усиления усилителя.

Напряжение, подаваемое на образец, регулируется автотрансформатором А. Оно измеряется вольтметром V, включенном на стороне низшего напряжения повышающего трансформатора Т и проградуированных с учетом коэффициента трансформации для измерения напряжения с 2 до 10 кВ.

Включение установки в сеть осуществляется рубильником на стенном щитке РЩ и магнитным пускателем. При нажатии кнопки "пуск" обмотка электромагнита пускателя ОП включается под напряжение, сердечник втягивается, и основные контакты магнитного пускателя замыкаются, подключая к сети автотрансформатор. Одновременно с основными замыкается и вспомогательный контакт пускателя ВК, шунтирующий кнопку "пуск", и поэтому отпускание этой кнопки после ее нажатия не вызывает отключения катушки пускателя от сети.

Лабораторное задание

1. Определить зависимости $\operatorname{tg}\delta$ и C_x от напряжения для конденсаторов, диэлектриками которых являются: а) стекло; б) два стекла с воздушным промежутком между ними; в) гетинакс.

Измерение произвести при напряжениях 2; 4; 5 и 7 кВ.

2. Полученные данные внести в таблицу:

Наименование исследуемых величин	Исследуемый образец					
	стекло		стекло-воздух-стекло		гетинакс	
	R_3	$\operatorname{tg}\delta$	R_3	$\operatorname{tg}\delta$	R_3	$\operatorname{tg}\delta$
U_1 , кВ						
U_2 , кВ						
U_3 , кВ						
U_4 , кВ						
C_x , мкФ						
P , Вт						

3. Построить графики зависимостей $\operatorname{tg}\delta$, C_x и P (величины диэлектрических потерь конденсатора) от напряжения для всех исследуемых образцов.

4. Определить величину диэлектрической проницаемости стекла и гетинакса при напряжении на образце 2 кВ.

Порядок выполнения работы

Прежде чем приступить к экспериментальной части работы, необходимо внимательно ознакомиться со схемой устройства установки, приведенным ниже заданием и порядком проведения работы. Знакомство с установкой проводится при выключенном рубильнике на стенном щитке. Первый опыт производится только по разрешению и под наблюдением преподавателя. Во время работы на высоковольтном мосте надо быть особо внимательным и дисциплинированным, имея в виду, что напряжения, применяемые при эксперименте, достаточно высоки. При работе необходимо соблюдать следующую последовательность операций:

1. При выключенном рубильнике на щитке установить в камере из органического стекла испытуемый образец, присоединив его электроды к нужным клеммам.
2. Закрыть дверцу камеры с образцом, обеспечив надежное замыкание блок-контакта.
3. Установить на нуль переключатели всех декад магазина сопротивлений R_3 и магазина емкостей C_4 , обеспечив заведомо неуравновешенное состояние моста.
4. Повернуть ручку автотрансформатора до отказа против часовой стрелки, когда напряжение на его выходе равно нулю, включить рубильник на стен-

ном щитке и нажать кнопку "пуск" магнитного пускателя.

5. Поставить регуляторы усиления по осям X и Y индикатора в нулевое положение, повернув ручки против часовой стрелки.
6. Включить питание усилителя и электронного индикатора равновесия.
7. Изменяя коэффициенты усиления усилителей по X и Y осям электронного индикатора равновесия, добиться, чтобы на экране появилось изображение эллипса.
8. Подбирая величину сопротивления магазина R3 и C4, добиться, чтобы эллипс перешел в прямую горизонтальную линию, что означает наступление уравновешенного состояния моста. Полученные при компенсации моста значения сопротивления R3 и емкости C4 записываются и по ним вычисляются искомые величины $\operatorname{tg}\delta$ и C_x .

Обработка экспериментальных данных

1. При расчете значения $\operatorname{tg}\delta$ следует воспользоваться формулой $\operatorname{tg}\delta = C_4$, где C_4 - выражена в микрофарадах. Указанная формула, как было отмечено в разделе I, справедлива для моста Шеринга типа P-525.

2. Емкость образца определяется по формуле:

$$C_x = C_0 \cdot \frac{R_4}{R_2} \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}$$

где $C_0 = 100$ пф, $R_4 = 10000/\rho$. Значения R_4 и $\operatorname{tg}\delta$ определяются в процессе измерения.

Если $\operatorname{tg}\delta \leq 1$, то емкость C_x можно подсчитать по формуле

$$C_x = C_0 \cdot \frac{R_4}{R_2}$$

3. Определив емкость C_x образца в виде плоского конденсатора, можно по формуле (I) вычислить величину ϵ испытуемого образца.

4. Величина диэлектрических потерь определяется по формуле

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \operatorname{tg}\delta$$

где U - приложенное напряжение/

Содержание отчета

Отчет должен содержать схему установки, результаты испытаний и расчета в виде таблиц и записей, графическое изображение зависимостей $\operatorname{tg}\delta = f(U)$, $P = \varphi(U)$, $C_x = f(U)$.

Контрольные вопросы

1. Изобразите схему моста P 525 и поясните принцип измерения $\operatorname{tg}\delta, \epsilon$.
2. Объясните характер зависимости $\operatorname{tg}\delta = f(U)$.
3. Изобразите и объясните векторную диаграмму токов для параллельной схемы замещения диэлектрика. Поясните физическую природу токов.

4. Выведите формулу $P = U^2 \cdot \omega \cdot C \operatorname{tg} \delta$
5. Нарисуйте зависимость ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ поливинилхлорида от частоты и температуры и объясните их.
6. Укажите области применения поливинилхлорида и полиэтилена, исходя из электрических свойств.
7. Какими процессами обусловлена диэлектрические потери в диэлектриках в постоянном и переменном электрическом поле?
8. Как изменяются с частотой диэлектрические потери и тангенс угла диэлектрических потерь в полярных диэлектриках?
9. Нарисуйте и объясните зависимость $\operatorname{tg} \delta = f(T)$ для неполярных и, полярных диэлектриков.

Лабораторная работа 3 **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ** **ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Целью работы является ознакомление с некоторыми характеристиками жидких диэлектриков, методами их измерения и изучение приборов и аппаратов, применяемых для контроля качества жидких диэлектриков.

Краткие теоретические сведения

Назначение жидких диэлектриков в большинстве электрических аппаратов двояко: во-первых, масло значительно повышает электрическую прочность изоляции; во-вторых, они (например, в трансформаторах), выполняют дополнительную функцию, являясь охлаждающим агентом и обеспечивая отвод теплоты, выделяющейся внутри работающего электрооборудования. В высоковольтных масляных выключателях жидкий диэлектрик (трансформаторное масло) выполняет функции дугогасящей среды. Пропитка пористых и волокнистых материалов жидкими диэлектриками способствует увеличению электрической прочности и теплопроводности изоляции.

Часто отказы электрооборудования сопровождаются искрением, дугообразованием, которые могут воспламенить жидкость, газообразные продукты ее испарения или разложения. Важно, чтобы диэлектрическая жидкость, ее пары или газообразные продукты разложения не воспламенялись при отказе электрооборудования.

Температурой вспышки называют температуру жидкости, при нагреве до которой смесь паров с воздухом вспыхивает при поднесении к ней небольшого пламени

Нормирование температуры вспышки связано необходимостью исключить возможность взрыва нагретой смеси паров и продуктов разложения масла.

Снижение температуры вспышки косвенно указывает на далеко зашедший процесс разложения масла и появление в нем легких углеродных фракций.

Жидкие диэлектрики можно классифицировать по различным признакам.

I. По химической природе: а) нефтяные масла; б) синтетические жидкости (хлорированные и фторированные углеводороды, кремний фторорганические жидкости).

II. По специфике применения для: а) трансформаторов; б) выключателей; в) конденсаторов; г) систем циркуляционного охлаждения и изоляции установок высокого напряжения.

III. По верхнему пределу допустимой рабочей температуры:

а) до 70°C (нефтяные масла в конденсаторах); до 95°C (нефтяные масла в трансформаторах, хлорированные углеводороды в конденсаторах); в) до 135°C (некоторые синтетические и хлорированные углеводороды); г) до 200°C (некоторые типы фтор углеродов; хлор фторорганосилоксаны); д) до 250.°C

IV. По степени горючести: а) горючие, б) негорючие

Конкретные требования к жидкому диэлектрику определяются конструкцией и условиями работы электрооборудования, в котором он применяется, степенью экологической опасности. К общим требованиям можно отнести:

1) высокая электрическая прочность; 2) высокое ρ ; 3) низкий $\operatorname{tg}\alpha$; 4) высокая стабильность в условиях эксплуатации, хранения и технологической обработки; 5) высокая стойкость к воздействию электрического и теплового полей; 6) высокая стойкость против окисления; 7) определенное значение ϵ_r с учетом особенностей электроизоляционной конструкции; 8) совместимость с применяемыми материалами; 9) пожаробезопасность; 10) экономичность; 11) экологическая безопасность; 12) низкая вязкость в диапазоне рабочих температур.

Ни один жидкий диэлектрик не соответствует всем этим требованиям одновременно. Приходится ориентироваться на важнейшие для конкретного случая применения требования, компенсируя отдельные недостатки ограничениями в условиях эксплуатации, либо внося соответствующие изменения в конструкцию электрооборудования.

Например, обеспечение экологической безопасности привело сначала к снижению степени хлорирования углеводородов и соответственному увеличению пожаробезопасности, а затем к почти повсеместному запрещению производства и применения полихлорированных дифенилов (ПХД). Практически

все существующие их заменители горючи. Этот недостаток удалось в значительной степени компенсировать пересмотром конструкции корпуса электрооборудования в сторону снижения вероятности опасного его повреждения в аварийной ситуации.

Однако до сего времени в эксплуатации все еще находится большое количество электрооборудования, содержащего экологически опасные ПХД. Эксплуатация такого электрооборудования требует строгого соблюдения специальных инструкций. Принимаются меры к постепенной замене ПХД в трансформаторах экологически безопасными жидкостями, оборудование уничтожа-

ется. Среди жидких диэлектриков наиболее распространены нефтяные масла: трансформаторное, конденсаторное, кабельное.

Нефтяное масло является одной из фракций продуктов перегонки нефти и представляет смесь жидких углеводородов предельного ряда: метановых C_nH_{2n+2} , нафтеновых C_nH_{2n} и ароматических. В зависимости от месторождения нефти в масле могут преобладать жидкие углеводороды нафтенового или ароматического типа. Нефтяные масла с большим содержанием нафтенов используются для получения трансформаторного масла, так как более стойки к окислению. Масла с преобладанием ароматических соединений более стойки к действию электрического поля, поэтому применяются для пропитки силовых кабелей из заливки бумажных конденсаторов.

Свойства трансформаторного масла в значительной степени зависят от примесей. Инеродные волокон твердой изоляции, частицы копоти от искровых разрядов, растворенные в масле газы и снижают электрические характеристики масла. Например, электрическая прочность трансформаторного масла сильно зависит от наличия в нем влаги, газов и механических примесей органического или

Влага может попадать в масло либо непосредственно из атмосферы, либо в результате ее конденсации на стенках резервуара при резких колебаниях окружающей температуры, либо из пропитываемой маслом (находящейся в масле) твердой изоляции (бумага, картон, дерево и т.п.). При повышенных температурах растворимость воды в масле увеличивается, поэтому вполне возможно, что при последующем охлаждении масла в нем появятся мельчайшие капельки выделившейся воды, образуя водомасляную эмульсию. Сферические вкрапления воды, втягиваясь в зоны с высокой напряженностью электрического поля, растягиваются в тонкие нити, пролегающие вдоль силовых линий поля в изоляционном промежутке, способствуя возникновению электрического пробоя. Наличие в масле даже небольших количеств влаги приводит к заметному понижению его электрической прочности.

При непосредственном контакте с воздушной средой газ может растворяться в масле. Количество растворенного газа пропорционально объему масла и его температуре, а также давлению газа. В результате электрических разрядов в масле может произойти выделение газа либо, наоборот, его поглощение в зависимости от содержания ароматических углеводородов в масле. Кроме того, выделение газа из масла может происходить при вибрации конструктивных элементов аппаратов высокого напряжения, находящихся в масле.

Напряженность электрического поля в газовом пузырьке, погруженном в масло с диэлектрической проницаемостью ϵ , приблизительно в ϵ раз выше напряженности поля в окружающем масле. Если напряженность электрического поля внутри газового пузырька окажется выше разрядного градиента данного газа, то внутри этого пузырька произойдет электрический разряд, который вызовет газообразование из-за разложения окружающего масла дугой. Разряд такого рода называется разрядом, так как при этом происходит пробой только газового пузырька, а не всего изоляционного промежутка между электродами.

Однако при определенных обстоятельствах этот процесс может принять лавинообразный характер и привести к полному разряду в изоляционном промежутке.

Частицы органического происхождения, например, волокна целлюлозы, заметно влияют на электрическую прочность масла, особенно если в нем имеется влага. Большинство волокон, попавших в масло, поляризуется, образуя электрические диполи, которые, втягиваясь в зоны с максимальной напряженностью электрического поля, образуют своеобразные мостики. При достаточно высокой напряженности вдоль этих мостиков могут возникать частичные разряды.

В тех случаях, когда относительная диэлектрическая проницаемость твердой частицы, находящейся в масле, больше ϵ масла, возникают силы, которые стремятся переместить частицу в зону с максимальной напряженностью электрического поля. Таким образом, в промежутке между электродами могут возникнуть проводящие мостики из подобных частиц.

Давление, под которым находится масло, существенно сказывается на его электрической прочности. Объясняется это тем, что при значительном повышении давления происходит сильное сжатие газовых пузырьков, находящихся в масле, и тем самым увеличивается растворимость газа в масле, кроме того, при увеличении давления увеличивается электрическая прочность газов. На зависимость электрической прочности масла от давления определенное влияние оказывает и первоначальное количество газа, находящегося в данном объеме масла. Поэтому увеличение электрической прочности сухого и хорошо очищенного масла с повышением давления значительно меньше, чем у масла, не подвергающегося подобной обработке.

В эксплуатации трансформаторное масло окисляется (стареет), что приводит к увеличению его и величине диэлектрических потерь.

Железо, медь, свинец, повышенная температура, воздействие электрических и солнечных лучей играют роль катализаторов процесса старения масла.

Плотность трансформаторного масла влияет на скорость осаждения взвешенных в нем посторонних примесей. Чем ниже плотность масла, тем быстрее осаждаются примеси.

Вязкость масла имеет весьма важное значение для правильной работы маслonaполненных аппаратов. Увеличение вязкости масла в трансформаторах приводит к перегреву последних, а повышение вязкости масла в выключателях создает опасность затяжного горения дуги и взрыва выключателя.

Материальное обеспечение

Аппарат АИИ-70 предназначен для определения электрической прочности трансформаторного масла и других жидких диэлектриков. Упрощенная схема аппарата представлена на рис. 9

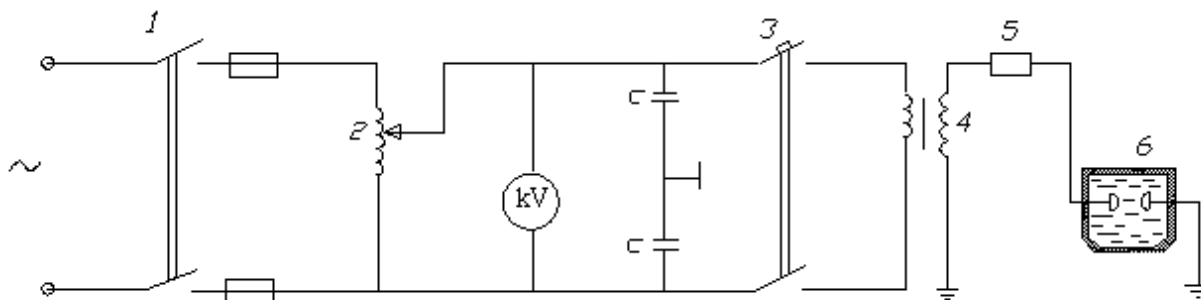


Рис.9. Принципиальная схема испытательной установки типа АИИ – 70:

1 – дверные блок – контакты; 2 – регулятор напряжения; 3 – автоматический выключатель; 4 – высоковольтный трансформатор; 5 – защитное сопротивление; 6 – сосуд с электродами для испытания жидкого диэлектрика

Аппарат выполнен в виде колонки, внутри которой расположен высоковольтный трансформатор 0,1/50 кВ. Измерение напряжения пробоя производится вольтметром, включенным в первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Шкала вольтметра отградуирована в кВ вторичного напряжения.

В аппарате имеется сосуд с электродами - стандартный разрядник, в который заливается испытуемое трансформаторное масло.

Стандартный разрядник крепится на выводах трансформатора и представляет собой фарфоровый сосуд емкостью 500 см³ с закрепленными в стенках металлическими электродами. В качестве электродов используются полусферы диаметром 2,5 см. Расстояние между электродами 2,5 мм. Оно проверяется с помощью калибра, прилагаемого к аппарату.

Для заземления аппарата предусмотрен зажим с гайкой, расположенный на задней стенке аппарата (внизу).

Прибор Мартенс-Пенского состоит из металлического сосуда с крышкой, имеющей две части - нижнюю неподвижную и верхнюю, которую можно поворачивать на некоторый угол. На крышке прибора имеется устройство, посредством которого осуществляется поворот подвижной части крышки. Одновременно к открывающейся поверхности жидкости наклоняется горелка, длина пламени которой устанавливается в 3 мм. В неподвижной части крышки - приспособление для крепления термометра, а в центре ее проходит стержень мешалки. Последняя имеет две пары лопастей: нижняя находится в самой жидкости, верхняя - над ней, т.е. в смеси паров жидкости с воздухом. Весь прибор помещен в баню, подогреваемую нагревательным элементом.

Лабораторное задание

1. Снять показания киловольтметра аппарата АИИ-70, проделав по 3 опыта с различными расстояниями между электродами (1,0; 1,5; 2,5 мм)

2. Определить электрическую прочность трансформаторного масла:
 $E_{пр} = U_{пр} / d$, где d - расстояние между электродами.

3. Полученные опытным и расчетным путями данные свести в таблицу:

Наименование исследуемых величин	Расстояние между электродами								
	d ₁ = мм,			d ₂ = мм,			d ₃ = мм,		
		2	3		2	3		2	3
U, кВ									
E _{пр} , кВ/м									

4. Определить температуру вспышки.

Порядок выполнения работы

1. При определении электрической прочности трансформаторного масла необходимо соблюдать следующую последовательность операций.

При выключенном рубильнике на стенном щитке изучить устройство аппарата АИИ-70 и схему его электрических соединений. Работа ведется при напряжениях, безусловно опасных для жизни, и в этой связи требуется строгое выполнение правил по ТБ. Промыть стандартный разрядник сухим чистым маслом. Подготовить пробу трансформаторного масла для испытания.

Пробу испытываемого масла перед заливкой не встряхивать во избежание образования пузырьков воздуха. Слить немного масла, чтобы обмыть края сосуда, в котором содержится проба, а затем трижды ополоснуть электроды испытываемым маслом.

Залить в стандартный разрядник испытываемое масло на уровень не менее 15 мм выше электродов. Установить разрядник с маслом в аппарат на стойки, соединенные с высоковольтными выводами.

Дать маслу отстояться в течение 10 мин для того, чтобы из него вышли пузырьки воздуха, после чего включить аппарат в сеть и производить испытание согласно инструкции, которая прилагается к работе.

Всего для каждого образца масла следует произвести 6 пробоев с выдержкой 5 мин после каждого пробоя. За пробивное напряжение масла принимают среднее арифметическое значение 5 последних пробоев (напряжение 1-го пробоя в расчет не принимается).

2. Определение температуры вспышки.

В сосуд прибора Мартенс-Пенского наливают до соответствующей отметки (риски) подлежащее испытанию масло, устанавливают крышку со всеми приспособлениями и начинают нагревать, причем масло и воздух над ним перемешиваются мешалкой. Скорость нагрева жидкости должна быть равной 2°С в минуту. Проверяют фитилек горелки, наличие масла в нем и длину пламени. Подогрев масла ведут до температуры 130°С, не зажигая горелки. После 130°С проверяют вспышку паров через каждые 2°С, для чего прекращают перемешивание, и поворотом горелки приводят крышку в движение, а к поверхности масла подводят пламя горелки. Отмечают температуру, при которой произой-

дет вспышка паров. При остывании масла также фиксируют температуру вспышки паров.

Содержание отчета

1. Результаты испытаний - температура вспышки трансформаторного масла и электрическая прочность.
2. Схема электрических соединений АИИ-70.
3. Сопоставление полученных результатов с литературными данными.
4. Заключение о том, удовлетворяют ли полученные значения Епр и температура вспышки нормам ГОСТа и ПТЭ.

Контрольные вопросы

1. Что называется пробоем, пробивным напряжением и электрической прочностью диэлектрика?
2. Классификация жидких диэлектриков.
3. Требования к жидким диэлектрикам.
4. Опишите кратко технологию получения трансформаторного масла.
5. Почему нормируют плотность, вязкость и температуру вспышки трансформаторного масла?
6. Как осуществляется регенерация трансформаторного масла?
7. Как производится отбор проб трансформаторного масла для испытания?
8. Какие факторы влияют на величину электрической прочности трансформаторного масла?
9. Что такое старение трансформаторного масла и каким образом можно замедлить этот процесс?
10. Какие электрические свойства и характеристики жидкого диэлектрика являются наиболее важными и почему?

Лабораторная работа 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Целью работы является изучение зависимости электрической прочности на переменном напряжении непровитанного и пропитанного электротехнического картона от числа слоев.

Краткие теоретические сведения

При напряженности электрического поля, превосходящей предел электрической прочности диэлектрика, наступает пробой. Пробой представляет собой процесс разрушения диэлектрика, в результате чего диэлектрик теряет электроизоляционные свойства в месте пробоя.

Напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, называют пробивным напряжением $U_{пр}$, а соответствующее ему значение напряженности электрического поля называется электрической прочностью диэлектрика $E_{пр}$.

Для равномерного электрического поля электрическая прочность диэлектрика определяется по формуле $E_{пр} = U_{пр} / h$, где h - толщина диэлектрика в месте пробоя, м.

Электрическая прочность является одной из основных характеристик электроизоляционного материала. Ею широко пользуются при расчетах и конструировании электрической изоляции машин, трансформаторов, кабелей, конденсаторов и других высоковольтных устройств, а также для оценки их надежности и долговечности.

Различают четыре основных вида пробоя диэлектриков:

1. Электрический пробой;
2. Тепловой пробой;
3. Электрохимический пробой;
4. Ионизационный пробой.

Электрический пробой. Этот вид пробоя представляет собой непосредственное разрушение диэлектрика силами электрического поля. Вторичные процессы (нагрев, химические реакции и т.п.), которые могут происходить в диэлектрике под действием электрического поля и облегчать развитие пробоя, при чисто электрическом пробое не имеют место. Электрический пробой обуславливается ударной ионизацией молекул диэлектрика вследствие взаимодействия с частицами диэлектрика ускоренных электрическим полем свободных заряженных частиц (электронов, ионов). Характерен для газообразных, жидких и твердых диэлектриков.

Для электрического пробоя характерны:

- 1) малое время развития пробоя;
- 2) малая зависимость электрической прочности от частоты приложенного напряжения;
- 3) малая зависимость электрической прочности от температуры;

4) сравнительно мало выраженная (при равномерном электрическом поле) зависимость электрической прочности от размеров диэлектрика и электродов.

Тепловой пробой. Имеет место при повышенной проводимости твердых диэлектриков, больших диэлектрических потерях, при плохом теплоотводе. Процесс теплового пробоя твердого диэлектрика состоит в следующем. Вследствие неоднородности состава, отдельные части объема диэлектрика обладают повышенной проводимостью. Они представляют собой тонкие каналы, проходящие через всю толщину диэлектрика. Вследствие повышенной плотности тока в таких каналах будет выделяться значительное количество теплоты. Это повлечет за собой еще большее нарастание тока вследствие резкого уменьшения сопротивления на данных участках диэлектрика. Процесс нарастания теплоты будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет тепловое разрушение материала (расплавление, науглероживание) по ослабленному месту вдоль всей его толщины.

Характерные признаки теплового пробоя твердых диэлектриков:

1. Пробой наблюдается в месте наихудшего теплоотвода диэлектрика.
2. Величина пробивного напряжения диэлектрика снижается с повышением температуры окружающей среды.
3. Величина пробивного напряжения снижается с увеличением длительности приложенного напряжения.
4. Электрическая прочность уменьшается с увеличением толщины диэлектрика.
5. Электрическая прочность диэлектрика уменьшается с ростом частоты приложенного напряжения. *Электрохимический пробой.* Развивается медленно и обуславливается химическими изменениями структуры диэлектрика под действием приложенного к нему электрического напряжения (электролиз в диэлектрике, влияние озона при возникновении короны в воздухе вблизи поверхности диэлектрика и т.п.).

Ионизационный пробой. Весьма важен в технике высоковольтных кабелей и конденсаторов с непропитанной бумажной изоляцией. Является следствием развития процесса ионизации (коронного разряда) в воздушных включениях внутри изоляции. При ионизации, помимо выделения тепла и образования озона, в воздушных включениях образуются также свободные электроны, производящие под действием электрического поля бомбардировку слоев изоляции, прилегающих к включениям. Все это приводит к существенному снижению величины электрической прочности диэлектрика в итоге, электрическая прочность непропитанной бумаги из-за значительного количества воздушных включений при 50 Гц составляет небольшое значение, равное 10-20 кВ/мм. Заполнение воздушных включений в бумаге минеральным маслом, обладающим значительно более высокой электрической прочностью, чем воздух, существенно повышает ее электрическую прочность. В процессе пропитки происходит не только простое заполнение пор и объемов между волокнами бумаги, но и всасывание масла в капилляры волокон.

Электрическая прочность пористого твердого диэлектрика может быть существенно увеличена и другим способом - повышением давления газа в порах или же заменой воздуха на газ с повышенной электрической прочностью.

Материальное обеспечение

Принципиальная схема лабораторной установки для испытания твердых диэлектриков показана на рис. 10.

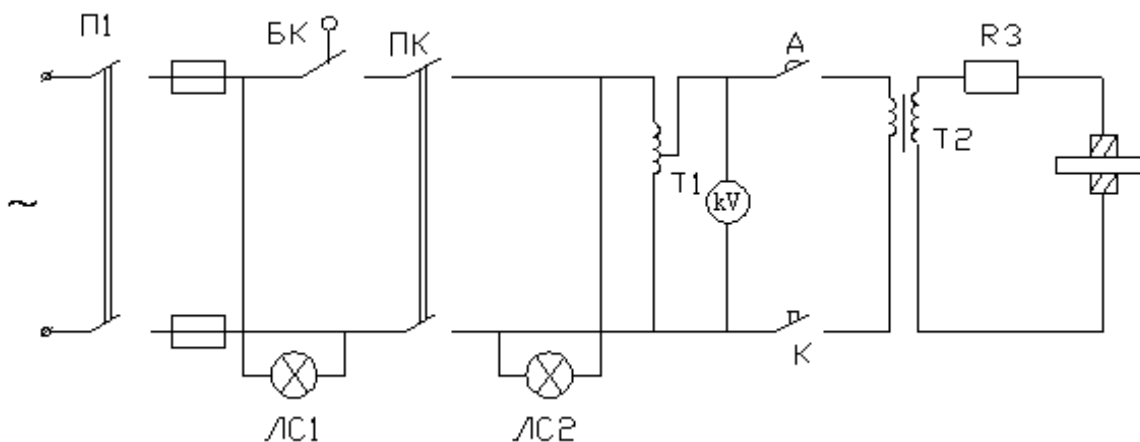


Рис.10. Принципиальная схема установки для испытания диэлектриков

П1, ПК - рубильники для создания двух видимых разрывов в цепи питания при отключении установки; ЛС1; ЛС2 - лампы сигнальные; одна лампа установлена на пульте управления, а вторая - над дверью ограждения; Т1 - лабораторный автотрансформатор, предназначенный для плавного регулирования подводимого к испытательному трансформатору напряжения; А - автоматический выключатель, отключающий испытательную установку в момент пробоя образца; БК - блокировочный контакт, установлен на двери ограждения и предназначен для разрыва цепи питания трансформатора в случае ошибочного открывания двери ограждения при включенной установке; Т2 - испытательный трансформатор; Кз - защитный водяной резистор, предназначенный для ограничения тока в схеме при пробое испытуемого образца; К - кнопка включения трансформатора Т2

Лабораторное задание

1. На переменном токе снять зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ для пропитанного и непропитанного электротехнического картона от толщины пакета. Результаты испытаний занести в таблицу:

Наименование исследуемых величин	Толщина картона					
	непропитанного			пропитанного		
	мм	мм	мм	мм	мм	мм
$U_1, \text{кВ}$						
$U_2, \text{кВ}$						
$U_3, \text{кВ}$						
$U_{ср}, \text{кВ}$						
$E, \text{кВ/м}$						

2. Для пакета из трех листов снять зависимость пробивного напряжения от времени его приложения и вычислить электрическую прочность при "бесконечной выдержке".
3. Сделать письменные выводы по проделанной работе.

Порядок выполнения работы

Перед началом работы следует ознакомиться с устройством установки. Работа ведется при напряжениях, безусловно, опасных для жизни, и в этой связи требует строгого выполнения правил по технике безопасности. Перед тем, как войти в помещение высокого напряжения, необходимо обязательно выключить рубильник Ш на стенном щите. Находясь в помещении высокого напряжения, запрещается закрывать дверь - необходимо, чтобы дверной блок-контакт БК был разомкнут. Категорически запрещается закрывать дверь ограждения, если внутри него есть люди.

Поместив пакет бумаги на электрод и установив верхний электрод на выбранном для пробоя участке, операцию по определению пробивных напряжений нужно проводить в следующем порядке:

1. Закрывать дверь ограждения и включить рубильник Ш. При этом на пульте загорается трафарет "Установка включена".

2. Установив переключатель вольтметра на пределе "250 В", рубильником П2 подать напряжение на обмотку регулировочного трансформатора Т1. При этом над дверью ограждения загорается трафарет "Высокое напряжение подано". Вращая маховичок автотрансформатора Т1, снизить до "0" напряжение на обмотке испытательного трансформатора и перевести переключатель пределов вольтметра в положение "50 В".

3. Включить автомат А и при нажатой кнопке К плавно со скоростью 2 кВ/с поднимать напряжение на электродах до пробоя. Испытательный трансформатор Т2 при пробое отключается автоматически с помощью автомата А. После пробоя кнопку К следует отпустить. В случае необходимости переключатель пределов вольтметра в процессе подъема напряжения переводится на более высокий предел измерения. За пробивное напряжение принимают наибольшее показание вольтметра перед началом пробоя.

4. После пробоя с помощью автотрансформатора снизить до "0" напряжение на обмотке испытательного трансформатора Т. Рубильником П2 отключить его от сети и выключить щитовой рубильник П1. Только после этого можно входить в помещение высокого напряжения.

Пробивное напряжение пакета бумаги вычисляется усредненным для 5 пробоев.

5. Зависимость пробивного напряжения от времени его приложения определяется с помощью электрического секундомера, который автоматически включается с подачей напряжения на образец и отключается при пробое. Найденное указанным выше способом пробивное напряжение U_{np} пакета бумаги из трех листов принимается за мгновенное. Затем определяется время, которое

выдерживает образец до пробоя при напряжении 95%, 90%, 85%, 80% от $U_{пр}$. Для этого по вольтметру V при разомкнутой кнопке K выставляется напряжение требуемой величины. Замыканием кнопки K это напряжение подается на образец, одновременно включается секундомер. В ходе выдержки напряжение следует поддерживать постоянным с помощью автотрансформатора $T1$.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Принципиальную схему лабораторной установки."
2. Таблицы результатов испытаний.
3. График зависимости $E_{пр} = f(h)$, $U_{пр} = f(U)$. для непропитанного и пропитанного электротехнического картона.
4. График зависимости $U_{пр} = f(t)$.

Контрольные вопросы

1. Что называется пробоем, пробивным напряжением и электрической прочностью диэлектрика?
2. Объясните связь между диэлектрическими потерями и тепловым пробоем твердых диэлектриков?
3. Конденсаторную бумагу марок КОН-1 или КОН-2 при изготовлении бумажных конденсаторов пропитывают конденсаторным маслом. Поясните, как изменяются ϵ , $\tan\alpha$ и $E_{пр}$, при пропитке бумажного конденсатора. Почему?
4. Электрические прочности непропитанной конденсаторной бумаги и конденсаторного масла равны 35 и 20 МВ/м соответственно. После пропитки бумаги маслом ее прочность возросла до 50 МВ/м, т.е. стала больше прочности непропитанной бумаги и масла. Почему?
5. Как влияет пористость на электрические свойства диэлектриков: а) диэлектрик сухой; б) диэлектрик увлажнен?
6. Какие электроизоляционные картоны применяются для электрической изоляции, работающей на воздухе и в масле?
7. Объясните, почему в однородном электрическом поле $E_{пр}$ больше, чем $E_{пр}$ в неоднородном поле.
8. Почему пропитанный картон имеет более высокую электрическую прочность, чем непропитанный?
9. Поясните механизм пробоя пропитанного и не пропитанного картона.
10. Какие факторы влияют на величину $E_{пр}$ твердых диэлектриков и почему?
11. Поясните механизм основных видов пробоя диэлектриков. При каких условиях можно ожидать тот или иной вид пробоя.

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ГАЗООБРАЗНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Целью работы является изучение зависимости электрической прочности на постоянном и переменном напряжениях газообразного диэлектрика от расстояния между электродами разной формы.

Краткие теоретические сведения

Значение пробивного напряжения между двумя находящимися в газе электродами и сама картина пробоя сильно зависят не только от химического состава газа, его давления, температуры и расстояния между электродами, но и от формы и размеров электродов, т.е. картины электрического поля в газовом промежутке.

Если электрическое поле является сравнительно равномерным, то при постепенном повышении напряжения сразу, без предварительных разрядов, возникает пробой всего промежутка между электродами в виде искры.

Если же имеем резко неоднородное поле, то при повышении напряжения разряд в газе может сперва возникать лишь в местах с наиболее высокой напряженностью электрического поля (на заостренных или вообще у мест, где электроды имеют наибольшую кривизну), не распространяясь на весь промежуток между электродами. Такой разряд, наблюдаемый в виде голубого свечения и сопровождающийся характерным звуком с жужжанием или потрескиванием, называется коронным разрядом.

Возникновение короны связано:

- 1) с затратой энергии, быстро возрастающей при повышении напряжения;
- 2) с химическими изменениями газа и объема, в котором наблюдается корона.

При дальнейшем повышении напряжения корона занимает все большее пространство и, наконец, происходит искровой или дуговой разряд между электродами, т.е. полный пробой газового промежутка.

Процесс пробоя газообразных диэлектриков начинается с того, что некоторое количество свободных электронов (правда, весьма ничтожное), образовавшихся под действием тех или иных внешних ионизаторов, например, космического излучения, увеличивает свою кинетическую энергию при повышении напряженности электрического поля до момента соударения с молекулой. Если эта энергия достигает значения "порога ионизации" W_n требуемого для ионизации молекулы, т.е. ее разделения на положительный ион и электрон, то может иметь место пробой газа, так как вновь образовавшиеся при ударной ионизации заряженные частицы в свою очередь будут разгоняться электрическим полем и ионизировать другие молекулы. Этот процесс будет развиваться до полного пробоя газового промежутка. Рассмотренный выше процесс пробоя за счет ударной ионизации молекул, как уже отмечено, возможен только при выполнении условия $W > W_n$. Если это условие не выполняется, то возможны:

1. Захват электрона молекулой газа и поглощение избыточной энергии электрона колебательной системой молекулы без возбуждения последней.

2. Диссоциация молекулы газа за счет кинетической энергии электрона, если она превышает энергию диссоциации газа. Электрон, потерявший свою энергию, может оказаться присоединенным к одному из атомов, образовавшихся в результате распада молекулы, или остаться свободным.

3. Возбуждение молекулы (атома), если кинетическая энергия электрона превышает энергию возбуждения молекулы или атома.

В первом и частично во втором случае происходит уменьшение числа свободных электронов в объеме газа. Интенсивность этого процесса характеризуется коэффициентом захвата электронов η_3 .

Возбуждение молекул оказывает существенное влияние на процесс формирования электрического разряда в газовой среде, поскольку возврат возбужденных молекул в нормальное состояние сопровождается излучением фотонов. Энергия фотонов может оказаться больше работы выхода электронов с электрода. При этом с поверхности электродов под действием фотонов выделяется дополнительное количество свободных электронов (фотоэффект с поверхности металла). Кроме того, если энергия фотона превосходит энергию ионизации молекулы (особенно возбужденной) газа, то при поглощении этого фотона молекулой газа происходит выделение из молекулы свободного электрона (фотоионизация газа собственным излучением), что является еще одним источником свободных электронов в объеме газа. Свободные электроны, появляющиеся в газе под действием фотонов, называются вторичными электронами, тогда как вновь образовавшиеся электроны под действием ударной ионизации называются первичными электронами. Интенсивность их образования характеризуется коэффициентом первичной ионизации α_3 , равным числу электронов, освобожденных одним электроном на единицу пути.

Излучение возбужденных молекул часто поглощается газом, что характеризуется коэффициентом поглощения μ_n . Последний увеличивается с повышением плотности и влажности газа.

Таким образом, при приложении напряжения к электродам в промежутке между ними происходит образование новых свободных электронов, поглощение свободных электронов рекомбинация и излучение возбужденных молекул. Интенсивность этих процессов зависит от коэффициентов α_3 , η_3 и μ_n . Если α_3 больше η_3 , то в промежутке между электродами будет быстро увеличиваться число движущихся свободных электронов, называемых лавиной электронов.

Коэффициенты ионизации многих газов α_3 незначительно различаются между собой, в то время как коэффициенты захвата η_3 различаются весьма сильно. Чем больше разность $\alpha_3 - \Gamma_3$, тем больше возникает свободных электронов и тем при меньшей напряженности поля начинается непрерывное увеличение числа электронов в газе. Так, например, для сухого воздуха отношение начальной напряженности к относительной плотности воздуха $E_n/\gamma_r = 23.6$ кВ/см. Для азота $\eta_3=0$, т.к. молекулы азота не могут присоединять к себе

электроны. Поэтому увеличение числа свободных электронов в азоте происходит при меньших 23.6 кВ/см , хотя α для азота меньше, чем для воздуха. В элегазе коэффициент η имеет существенно большее значение, чем в воздухе. Это увеличивает начальную напряженность в элегазе до уровня, при котором $E_n/\gamma_r = 89 \text{ кВ/см}$, т.е. электрическая прочность элегаза оказывается больше, чем воздуха.

Материальное обеспечение

Электрическую прочность воздуха определяют на установке переменного тока промышленной частоты (50 Гц), схема которой изображена на рис. 11.

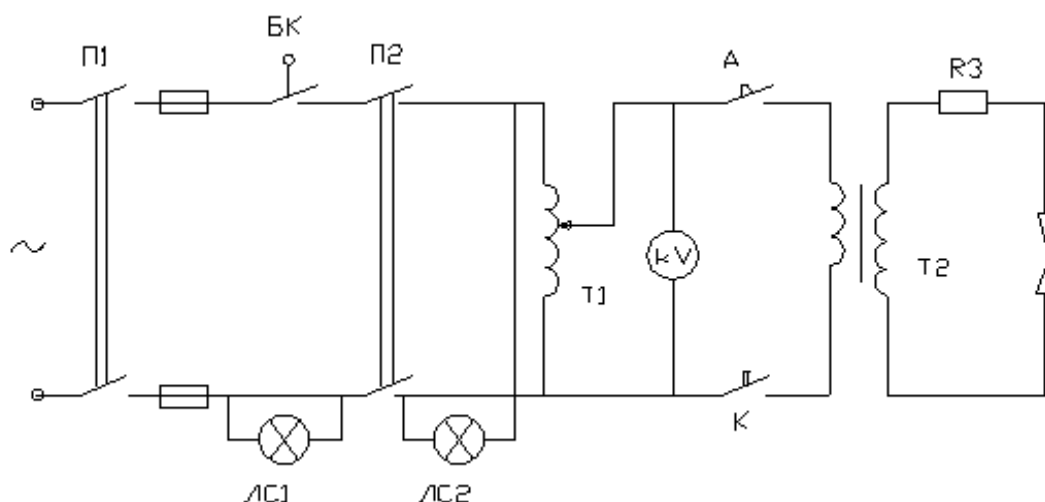


Рис. 11. Принципиальная схема установки переменного тока промышленной частоты (50 Гц):

П1, П2 - рубильники для создания двух видимых разрывов в цепи питания при отключении установки; ЛС1, ЛС2 - лампы сигнальные; одна лампа установлена на пульте управления, а вторая - над дверью ограждения, Т1 - лабораторный автотрансформатор, предназначенный для плавного регулирования подводимого к испытательному трансформатору напряжения; А - автоматический выключатель, отключающий испытательную установку в момент пробоя образца; БК - блокировочный контакт, установленный на двери ограждения и предназначенный для разрыва цепи питания трансформатора в случае ошибочного открывания двери ограждения при включенной установке; Т2 - испытательный трансформатор; R3 - защитный водяной резистор, предназначенный для ограничения тока в схеме при пробое испытуемого образца; К - кнопка включения трансформатора Т2

Высокое напряжение подается на электроды от повышающего трансформатора Т2. Electroдами, между которыми испытывается воздух, в настоящей работе являются шары диаметром 12,5 см. и две иглы. Electroды укрепляются на изолирующей конструкции, которая позволяет менять величину пробивного промежутка, не отключая напряжение, и имеет шкалу для отсчета величины приложенного напряжения.

Для определения электрической прочности воздуха на постоянном напряжении используется аппарат АКИ-50 (рис. 12).

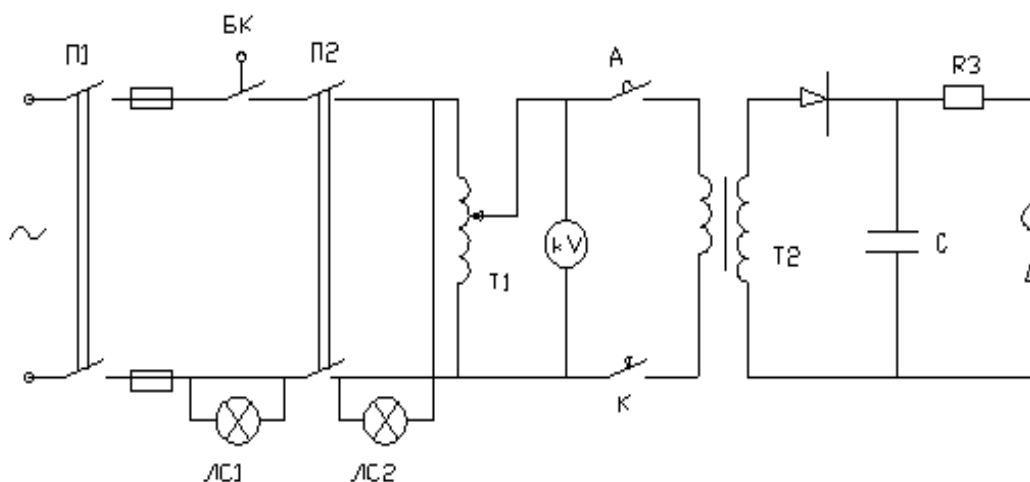


Рис. 12. Принципиальная схема установки АКИ-50 для испытания диэлектриков: П1, П2 - рубильники для создания двух видимых разрывов в цепи питания при отключении установки; ЛС1, ЛС2 - лампы сигнальные: одна лампа установлена на пульте управления, а вторая - над дверью ограждения; Т1 - лабораторный автотрансформатор, предназначенный для плавного регулирования подводимого к испытательному трансформатору напряжения; А - автоматический выключатель, отключающий испытательную установку в момент пробоя образца; БК - блокировочный контакт, установленный на двери ограждения и предназначенный для разрыва цепи питания трансформатора в случае ошибочного открывания двери ограждения при включенной установке; Т2 - испытательный трансформатор; Д - диод; R₃ - защитный водяной резистор, предназначенный для ограничения тока в схеме при пробое испытуемого образца; К - кнопка включения трансформатора Т2

Аппарат АКИ-50 питается от сети однофазного переменного тока напряжением 125-220 В, имеет выпрямленное напряжение 50 кВ, выпрямленный ток 2 мА. Высоковольтный однофазный масляный трансформатор с напряжением первичной обмотки 110 В создает во вторичной обмотке напряжение до 36 кВ.

Выпрямление тока осуществляется кенотроном, который расположен в баке трансформатора. Там же помещен трансформатор накала и буферное сопротивление, которое служит для защиты высоковольтного трансформатора и кенотрона от перегрузок при пробое воздуха.

Первичная обмотка высоковольтного трансформатора присоединяется к сети через автотрансформатор, позволяющий плавно менять напряжение от нуля до максимального значения. Напряжение измеряется киловольтметром, включенным в первичную обмотку трансформатора. Вольтметр отградуирован в киловольтах выпрямленного напряжения при холостом режиме аппарата.

Лабораторное задание

1. На переменном токе снять зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от растяжения между электродами при следующих формах электродов: (шар-шар); (шар-игла); (игла-игла).

2. На постоянном токе снять зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от расстояния между шаром и иглой при двух случаях: при положительной полярности шара и отрицательной иглы и наоборот.

3. Заполнить таблицу:

Наименование исследуемых величин	Род напряжений																
	постоянные								переменные								
	+				-				↔				↔				
	Расстояние между электродами, мм																
U_1 , кВ																	
U_2 , кВ																	
U_3 , кВ																	
$U_{ср}$, кВ																	
E , кВ/м																	

Порядок выполнения работы

Перед началом работы следует ознакомиться с устройством установки. Работа ведется при напряжениях, безусловно, опасных для жизни, и в этой связи требует строгого выполнения правил по технике безопасности.

Перед тем, как войти в помещение высокого напряжения, необходимо обязательно выключить рубильник Ш на стенном щите. Находясь в помещении высокого напряжения, запрещается закрывать дверь - необходимо, чтобы дверной блок-контакт БК был разомкнут. Категорически запрещается закрывать дверь ограждения, если внутри него есть люди.

1. Определение пробивного напряжения между шарами.

К высоковольтным выводам трансформатора (рис.11) подключают шары, закрепленные на изолирующей конструкции. Затем сближают шары до упора так, чтобы показание по шкале этой конструкции соответствовало $h=0$, где h -расстояние между электродами. После этого шары разводят до расстояния $Б = 5$ мм, выходят из помещения высоковольтного трансформатора и плотно закрывают дверь ограждения с целью получения надежного замыкания блок - контакта. Вольтметр устанавливают в крайнее левое положение (против часовой стрелки). Включают рубильник Ш. Плавно повышают напряжение при помощи автотрансформатора до пробоя.

В момент пробоя воздуха отмечают показания вольтметра, затем устанавливают рукоятку автотрансформатора в крайнее левое положение (против часовой стрелки). Включают автомат (при каждом пробое он автоматически отключается) и снова повышают напряжение. Измерения производят 3 раза и берут среднее значение.

В дальнейшем, повторяя все вышеизложенное, производят пробой воздуха при расстояниях 10, 15, 20, 25 мм. По мере необходимости изменяют пределы вольтметра.

2. Определение пробивного напряжения между шаром и иглой.

На изолирующей конструкции заменяют один из шаров иглой и проводят испытания в последовательности, указанной в п.1, при тех же расстояниях между электродами.

3. Определение пробивного напряжения между иглами.

На изолирующей конструкции закрепляют две иглы и проводят испытания, как указано в п. 1.

Определение пробивного напряжения между шаром и иглой при постоянном напряжении

4. Пробой воздуха при положительной полярности на игле.

При включенном аппарате закрепить электроды на изолирующей конструкции и подключить иглу к положительному выводу аппарата, а шар - к отрицательному.

Сблизить электроды до упора так, чтобы показание по шкале соответствовало $h=0$, и выйти из помещения высоковольтного аппарата, плотно закрыв дверь ограждения. После этого дистанционно, при помощи шнура, развести электроды до расстояния $h=5$ мм, включить установку в сеть напряжением 127-220 В, заведенную через блок - контакты двери ограждения. При этом должна загореться зеленая сигнальная лампа. Включить автоматический выключатель и подать напряжение на трансформатор. При этом должна загореться красная сигнальная лампа. С помощью автотрансформатора изменять напряжение от нуля до пробивного значения со скоростью 1 кВ/с. В момент пробоя срабатывает реле максимального тока и аппарат включается. Рукоятку автотрансформатора немедленно выводят в крайнее левое положение, а величину напряжения при пробое записывают. Измерения производят 3 раза и берут 'среднее значение.

В дальнейшем, повторяя все вышеизложенное, производят пробой воздуха при расстояниях 10, 15, 20, 25 и 30 мм.

5. Пробой воздуха при отрицательной полярности на игле.

На изолирующей конструкции иглу подключить к выводу аппарата с отрицательной полярностью, а шар к выводу с положительной полярностью и произвести испытания в последовательности, указанной в п. 4, и при тех же расстояниях между электродами.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Принципиальную схему испытательной установки.
2. Описание свойств воздуха и области применения.

3. Результаты наблюдений и вычислений в виде таблицы.
4. Графики зависимостей $U_{пр} = f(h)$ и $E_{пр} = f(h)$

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность процесса ударной ионизации в газах? Какие есть стадии развития электрического пробоя?
2. Как зависит величина $U_{пр}$ и $E_{пр}$ от расстояния между электродами?
3. Как влияет форма электродов на электрическую прочность воздуха?
4. Объяснить механизм эффекта полярности при различных полярностях на электродах типа шар-игла.
5. Что такое искровой, дуговой, тлеющий и коронный разряды?
6. Какие условия перехода разряда из несамостоятельного в самостоятельный?
7. Как влияет частота электрического поля между электродами на электрическую прочность воздуха?
8. Как влияет на электрическую прочность воздуха влажность?
9. Объясните зависимость пробивного напряжения воздуха от давления и расстояния между электродами.

Лабораторная работа №6 ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

Цели работы

- 1) Ознакомление студентов с методом измерения магнитных свойств материалов;
- 2) Изучение магнитных характеристик ферромагнитных материалов, необходимых для расчета и конструирования магнитопроводов электрических машин, электроизмерительных приборов, трансформаторов;
- 3) Приобретение навыков работы с осциллографом.

Краткие теоретические сведения

В электротехнике в качестве магнитных материалов используются главным образом, ферромагнетики и ферримагнетики.

По значению коэрцитивной силы K_c они делятся на две большие группы – магнитомягкие материалы с малой K_c и магнитотвердые материалы с большой K_c . В соответствии со стандартом ГОСТ19083-74 магнитомягкими называются магнитные материалы с коэрцитивной силой не более 4 кА/м, а магнитотвердыми – с коэрцитивной силой не менее 4 кА/м.

Магнитомягкие материалы предназначены прежде всего для работы в переменных магнитных полях или в динамических режимах (магнитопроводы трансформаторов, электрических машин), магнитотвердые материалы – для работы в статическом режиме (постоянные магниты).

По типу химических связей магнитные материалы делятся на металлические и неметаллические. К металлическим магнитным материалам относятся железо, никель, кобальт и их сплавы (ферромагнетики). К неметаллическим относятся ферриты, которые представляют собой двойные окиси железа с общей формулой $MeOFe_2O_3$.

Все ферромагнетики имеют кристаллические строения. Основным условием существования ферромагнетизма является:

а) наличие у атомов некомпенсированных спиновых магнитных моментов;

б) отношение параметра кристаллической решетки a к диаметру электронной орбиты, на которой находится некомпенсированный электрон, должно удовлетворять соотношению $a/2R > 1.5$.

В этом случае в результате обменного взаимодействия между соседними атомами внутри ферромагнетики образуются особые области - домены, которые обладает магнитным моментом.

Направление магнитных моментов доменов равновероятны, поэтому весь образец не имеет магнитного момента, т.е. он не намагничен.

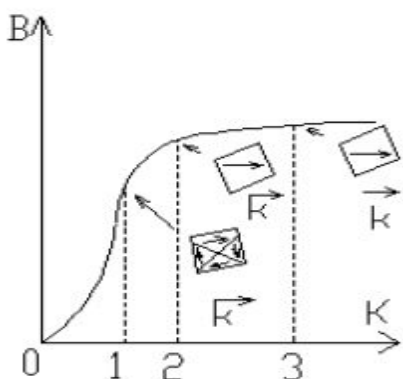


Рис.13. Основная кривая намагничивания

Процесс намагничивания ферромагнитного материала практически характеризует основная кривая намагничивания $B=f(H)$ (рис.13) На этой кривой имеются четыре области, каждой из которых соответствует собственный физический механизм намагничивания, отличный от других. В самых слабых полях (область 0-1 кривой) происходит рост объема доменов, магнитный момент которых ориентирован ближе всех к направлению внешнего магнитного поля. Этот рост осуществляется путем обратимых перемещений доменных границ. В области 1-2 продолжается рост благоприятно ориентированных доменов за счет доменов с неблагоприятной ориентацией. Это осуществляется за счет перемещения доменных границ, которые происходят скачкообразно и необратимо. В конце области 1-2 перемещение доменных границ прекращаются. В области 2-3 происходит ориентация магнитного момента доменов в направлении внешнего поля. Этот процесс требует большие энергии, чем перемещение доменных границ, поэтому происходит только при сильных полях. В конце этой области все магнитные моменты доменов ориентируются в направлении магнитного поля, что соответствует состоянию насыщения. В дальнейшем самопроизвольная намагниченность уже не изменяет своего направления, а только медленно увеличивается. Этот процесс называется парапроцессом. По основной кривой намагничивания экс-

периментально определяют магнитную проницаемость μ и ее зависимость от поля $\mu = f(H)$ (рис. 14).

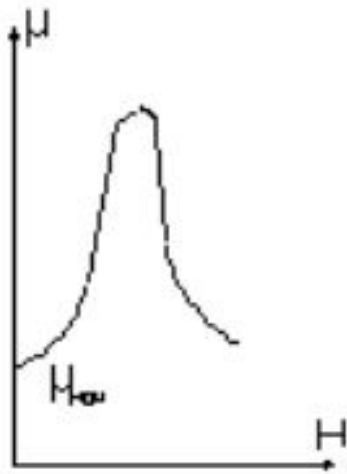


Рис.14. Зависимость $\mu = f(H)$

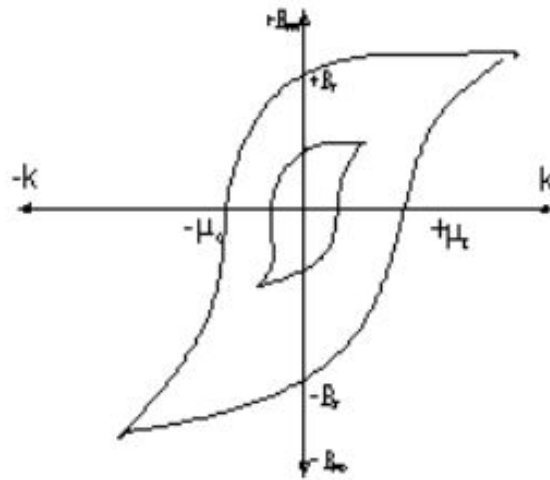


Рис.15. Петля магнитного гистерезиса

Относительная проницаемость $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$, где μ_0 - магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

Если напряженность поля меняется периодически, то зависимость $B = f(H)$ представляет замкнутую линию, которую называют петлей магнитного гистерезиса (рис.15).

На рис.15 показано семейство петель гистерезиса. Петля с самой большой площадью называется предельной, площадь ее при увеличении напряженности поля не изменяется, растут только безгистерезисные участки. По предельной петле определяют коэрцитивную силу H_c , остаточную индукцию B_r , максимальную индукции B_{max} , а также магнитные потери.

Перемагничивание магнитного материала в переменных полях сопровождается потерями на гистерезис и вихревые токи. Потери на гистерезис вызваны трением при смещении доменов. Величина потерь и гистерезис в единице объема за один цикл перемагничивания пропорциональна площади статического цикла гистерезиса, когда потери на вихревые токи отсутствуют. Мощность, расходуемая на магнитный гистерезис, определяется по эмпирической формуле

$$P_{hb} = \eta \cdot f \cdot B_{1max}^n \cdot V$$

где η - коэффициент, зависящий от материала; n - показатель степени $n=1,6-2$; V - объем материала.

Потери на вихревые токи называются протекающими по замкнутым контурам внутри материала токами, индуцированными внешним магнитным полем. Они зависят от удельного электрического сопротивления материала и формы сердечника. Мощность потерь на вихревые токи определяются по формуле:

$$P_r = \xi \cdot f^2 \cdot B_{max} \cdot V$$

где ξ – коэффициент, зависящий от типа ферромагнетики.

Одним из широко распространенных в настоящее время методов исследования магнитных материалов является осциллографический метод. Достоинством этого метода является возможность визуального наблюдения петли гистерезиса, широкий диапазон частот переменного тока, в котором можно производить исследование возможность применения образцов малых размеров и веса в силу высокой чувствительности осциллографа.

Описание установки и принцип ее действия

В работе все измерения производятся на образцах тороидальной формы. На образец намотаны три обмотки. Обмотка W_1 , по которой пропускается ток, создающий магнитное поле, называется намагничивающей. Вторая обмотка W_2 , в которой возникает ЭДС индукции, называется измерительной. Третья обмотка – короткозамкнутая. На рис.16 изображена установка, с помощью которой на экране осциллографа можно получить изображение динамической петли гистерезиса, а по данным петли найти основные характеристики магнитного материала H_c , B_r , B max получить основную кривую намагничивания и рассчитать потери в образце.

Принцип работы схемы заключается в следующем: ток, протекающий по намагничивающей обмотке тороида, создает в нем переменное магнитное поле, напряженность H которого в каждый момент времени пропорциональна мгновенному значению тока и определяется формулой $H = I_1 W_1 / l_{cp}$, где l_{cp} - длина средней магнитной линии поля тороида; I_1 - мгновенное значение переменного тока.

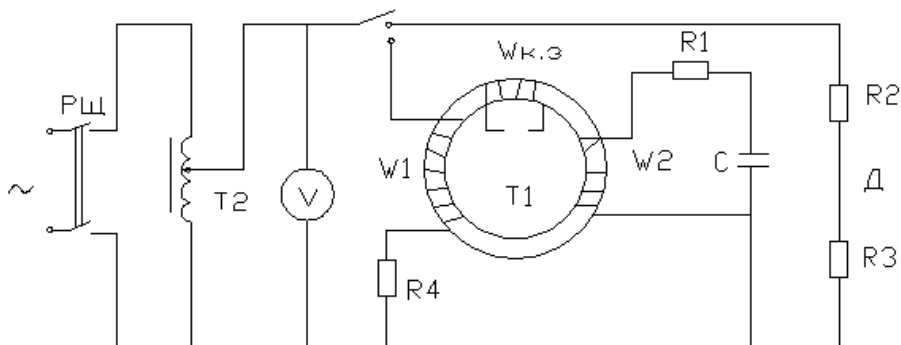


Рис.16. Принципиальная схема установки для исследования магнитных свойств магнетиков с помощью осциллографа:

T_1 – тороид с тремя обмотками, W_1 – число витков намагничивающей обмотки; T_2 - автотрансформатор, W_2 - число витков измерительной обмотки; V - вольтметр; R_4 - с него на ось X осциллографа подается напряжение, пропорциональное напряженности магнитного поля в тороиде; R_1, C - интегрирующая цепь; R_2, R_3 – делитель

Последовательно с намагничивающей обмоткой включено активное сопротивление R_4 , причем $R_4 \ll Z_1$, где Z_1 - полное сопротивление первичной обмотки.

На пластины X осциллографа подают напряжение с R_4 , Она пропорциональна току в намагничивающей обмотке. Отклонения луча в горизонтальном направлении пропорциональна амплитудному значению тока, а значит и амплитудному значению напряженности поля. Ось X поэтому будем называть осью напряженности магнитного поля.

В измерительной обмотке возникает электродвижущая сила электромагнитной индукции

$$e_2 = -W_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -W \cdot S \cdot \frac{dB}{dt},$$

где S - сечение тороида; W_2 – число витков вторичной обмотки.

Измерительная обмотка замыкается через цепочку $R_1 C$, по которой протекает ток I_2 , ЭДС индукции можно представить как сумму падений напряжений на отдельных участках цепи

$$e_2 = I_2 R_1 + \frac{L dI_2}{dt} + U_c,$$

где $I_2 R_1$ – падение напряжения на сопротивление; $\frac{L dI_2}{dt}$ - ЭДС самоиндукции в измерительной обмотке; U_c – падение напряжения на конденсаторе цепи.

Величина U_c пропорциональна индукции магнитного поля в материале. Это можно показать следующим образом. Сопротивление выбрано так, что $R_1 \gg Z_1$, $R_1 \gg X_c$, где Z_1 - полное сопротивление измерительной обмотки; X_c - емкостное сопротивление конденсатора. Поэтому $I_2 R_2 \gg \frac{dI_2}{dt} + U_c$

Ток в измерительной обмотке определяется в основном сопротивлением R_1 и его можно выразить так: $e_2 = I_2 R_1$.

Падение напряжения на конденсаторе, как известно, выражается формулой:

$$U_c = \frac{1}{c \int_0^t I_2 dt}$$

Подставляя в нее значение I_2 , получим:

$$U_c = \frac{1}{c \int_0^t \left(\frac{I_2}{R_1} \right) dt} \quad \text{или} \quad U_c = \frac{1}{c W_2 B S}$$

В итоге получилось, что напряжение на выходе цепи U_c оказалось пропорциональным интервалу по времени от входного напряжения e_2 .

Цепь, действующая таким образом, что на ее выходе напряжение пропорционально интервалу по времени от входного напряжения, называется интегрирующей цепью.

Так как на вертикальную пластину осциллографа подается напряжение, пропорциональное индукции B , то ее мы будем называть осью индукции.

При одновременной подаче напряжения на обе оси на экране возникает неподвижное изображение петли гистерезиса.

Лабораторное задание

Для заданных образцов:

- а) нарисовать (по точкам) цикл магнитного гистерезиса и записать полное отклонение луча на экране осциллографа по горизонтали X и вертикали Y в мм;
- б) снять зависимость координаты вершины петли гистерезиса от приложенного к обмотке W_1 напряжения;
- в) оценить слияние коротко замкнутых витков на форму петли гистерезиса;
- г) произвести качественное сравнение предельных петель гистерезиса для электротехнической стали, пермаллоя и феррита;
- д) произвести градуировку осей горизонтального и вертикального отклонений осциллографа;
- ж) по данным пунктов "б" и "д" определить значения B и H и рассчитать относительную магнитную проницаемость μ . По полученным данным построить зависимости $B = f_1(H)$, $\mu = f_2(H)$. Расчетные формулы приведены ниже.
- з) определить удельные потери на гистерезис и вихревые токи (удельные потери в образце определяются для каждой петли гистерезиса), по полученным данным строят зависимость.

Порядок выполнения работы

Для выполнения пунктов:

"а" - привести схему в исходное состояние для чего ключ отключить (сигнальная лампа не должна гореть), ключ $П2$ перевести в положение 2, переключатель $П3$ в положение 0, а переключатель $П4$ - в положение, указанное преподавателем. Ручку осциллографа "диапазон частот" установить в положение "выкл", ручку вертикального и горизонтального усиления в крайне левые положения, ручку "ослабление" поставить на положение 1:10.

Соединить зажимы x и 3 установки с зажимами горизонтального входа осциллографа, а зажимы $У$ и 3 с зажимами вертикального входа.

Получить разрешение преподавателя на включение установки под напряжение. Включить установку, осциллограф и с помощью автотрансформатора T установить напряжение 80 В. Ручками вертикального и горизонтального усиления произвести коррекцию изображения петли магнитного гистерезиса так, что координаты вершин были удобны для отчета, и выполнить условия задания пункта «а».

При всех дальнейших изменениях ручки горизонтального и вертикального усиления не трогать!

«а» - с помощью регулировочного автотрансформатора A уменьшить напряжение ступенями через 10 В, с 80 В до нуля. Для пермаллоя напряжение изменять от 80 до 70. В через 2В, в от 70 до нуля через 10В. При каждом током значении напряжения записать величины X и $У$. Результаты эксперимента занести в таблицу.

«в» - получить на экране осциллографа изображение цикла магнитного гистерезиса так, как это указано в пункте «а», зарисовать оба.

Затем переключателем ПЗ увеличивать число коротко замкнутым витков, наблюдая за изменением гистерезисного цикла. На том же графике зарисовать цикл гистерезиса при четырех замкнутых накоротко витках.

Перевести переключатель ПЗ в положение 0.

Материал магнитопровода					
X, мм	H, А/м	Y, мм	B, Тл	P, Вт/кг	Примечание

“г” – для выполнения этого пункта, сократив схему “а”, последовательно изменять положение переключателя ПЗ, начиная с положения 1.

В положении 3 при включении образца с ферритовым сердечником ручку осциллографа “ослабление” необходимо поставить в положение 1.

Петли гистерезиса для всех трех образцов следует изобразить на графике.

“д” – выключатель П2 перевести в положение 1.

При градуировке оси X на вход горизонтального усиления осциллографа подать напряжение с резистора R3, а зажимы вертикального выхода с осциллографа (левые) замкнуть накоротко. Далее с помощью автотрансформатора T повысить напряжение так, чтобы максимальное отклонение луча точно соответствовало его максимальному отклонению по оси X, полученному при наблюдении петли гистерезиса при U=80 В. Записать соответствующее току отклонению напряжение.

Градуировка оси X производится аналогично градуировке оси X, но напряжение с резистора R3 подается на зажимы вертикального усиления осциллографа, а зажимы горизонтального усиления заворачиваются. После установления напряжения, соответствующего максимальному отклонению луча по вертикали при снятии петель гистерезиса, записывают значения Uв. Определение масштабов горизонтального и вертикального отклонений луча электронно-лучевой трубки дано в разделе “Обработка экспериментальных данных”.

Обработка экспериментальных данных

Масштаб горизонтального отклонения луча электронно-лучевой трубки осциллографа вычисляется по формуле:

$$\alpha = 22.5 \cdot W_1 \cdot U_H \cdot \frac{R_3}{R_4} \cdot r_{cp} (R_2 + R_3) \cdot X,$$

где W1- число витков первичной обмотки; Uн – напряжение, подаваемое на делитель при градуировке, В (из пункта “д”); X – полное отклонение луча осциллографа при градуировке, мм; r_{cp} – радиус средней магнитной силовой линии в магнитопроводе, см.

Масштаб вертикального отклонения луча электронно-лучевой трубки определяется по формуле

$$\beta = 1.41 \cdot 10^4 \cdot \frac{U_B \cdot R_2 \cdot CR_1}{W_2} \cdot S \cdot (R_2 \cdot R_3) \cdot Y$$

где U_B – подводимое к делителю напряжение при градуировке; W_2 – число витков вторичной обмотки; Y – полное отклонение луча электронно-лучевой трубки при градуировке, мм; S – площадь поперечного сечения испытуемого образца, см².

Значения $R_1, R_2, R_3, R_4, C, S, W_1, W_2, r_{cp}$ – приведены на лабораторном стенде.

Расчет значений B, H, μ производится по формулам:

$$B = Y \cdot \beta, \text{ Тл}; \quad H = X \cdot d, \text{ А/м}; \quad \mu = \frac{B}{H\mu_0}$$

Определение удельных потерь на гистерезисе и вихревые токи определяется по формуле:

$$P_{ул} = \left(\frac{Sn\alpha\beta}{10^3 \gamma} \right) f$$

где Sn – площадь петли магнитного гистерезиса, мм², находят из рис. 17;

γ – плотность магнитного материала (его значение приведено на лабораторном стенде); f – частота питающего напряжения.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

1. Схему установки
2. Рисунки предельных циклов гистерезиса
3. Расчетные соотношения и результаты расчета в виде таблицы и отдельных записей
4. Графики зависимостей

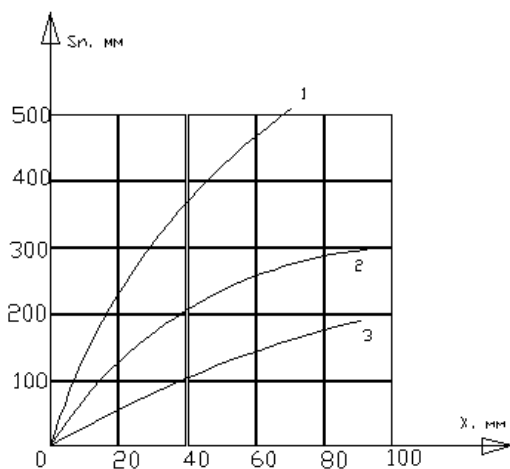


Рис. 17. Зависимость площади петли гистерезиса от размера X: 1 – электротехническая сталь; 2 – пермаллой; 3 – феррит

Контрольные вопросы

1. Объясните основные характеристики магнитомягких материалов и сравните их с характеристиками магнитотвердых материалов.
2. Назовите важнейшие магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Приведите их основные технические характеристики.
3. Состав, свойства и область применения электротехнической стали и ферритов.
4. Виды потерь в магнитных материалах. Способы их уменьшения.
5. Какие показатели свойств магнитных материалов являются основными?
6. Как и почему в магнитных материалах проявляются гистерезисные явления?
7. Что такое магнитная текстура и как она связана со свойствами магнитных материалов?
8. Листовая электротехническая сталь. Основные марки, свойства и область применения. Как расшифровать марку стали?

Лабораторная работа 7

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: Ознакомиться с внешним видом наиболее распространенных диэлектрических материалов, описать их физико-химические и электрические свойства. Изучить область применения данных материалов.

Краткие теоретические сведения

По совокупности свойств диэлектрика, связанных с явлением поляризации, все диэлектрические материалы подразделяются на электроизоляционные материалы и активные диэлектрики.

Электроизоляционные материалы обладают высоким удельным электрическим сопротивлением и высокой электрической прочностью. Поляризованность таких диэлектриков прямо пропорциональна напряженности электрического поля (т.е. $P = \chi E$, где χ - абсолютная диэлектрическая восприимчивость диэлектрика) и весьма слабо зависит от других внешних воздействий. Электроизоляционные материалы используются для создания электрической изоляции, которая окружает токоведущие части электрических устройств и отделяет друг от друга части, находящиеся под различным электрическим потенциалом. Назначение электрической изоляции не допускать прохождения электрического тока по каким-либо нежелательным путям помимо тех путей, которые предусмотрены электрической схемой устройства. Кроме того, электроизоляционные материалы используются в качестве диэлектриков в электрических конденсаторах для создания определенного значения электрической емкости конденсатора.

Активные диэлектрики - это диэлектрические материалы, способные преобразовывать, генерировать или усиливать электрические сигналы в электрической цепи. К активным диэлектрикам относятся:

1. Сегнетоэлектрики - диэлектрики, обладающие спонтанной поляризацией, направление которой может быть изменено внешним воздействием. У таких диэлектриков наблюдается явная зависимость $E_r = f(E)$.

2. Пьезоэлектрики - диэлектрики, поляризованность которых зависит от механических воздействий. У таких диэлектриков наблюдается явная зависимость $E_r = f(F)$, где F - механическое напряжение.

3. Пироэлектрики - диэлектрики, поляризованность которых зависит от температуры. У таких диэлектриков наблюдается явная зависимость $E = f(T)$, где T - температура диэлектриков.

4. Электреты - диэлектрики, длительно создающие в окружающем пространстве электростатическое поле за счет предварительной их электризации или поляризации.

Наиболее широко представлены в электротехнике твердые электроизоляционные материалы. По своей химической природе и по свойствам твердые диэлектрики могут быть разделены на органические и неорганические.

Под органическими веществами понимают соединения углерода с другими элементами. Они могут быть получены двумя основными способами:

1. Путем переработки или обработки природных продуктов растительного или животного происхождения (искусственные материалы).

2. Путем синтеза на основе природного газа и продуктов переработки каменного угля, нефти (синтетические материалы).

Многие органические электроизоляционные материалы обладают ценными механическими свойствами, гибкостью, эластичностью; из них могут быть изготовлены волокна, пленки и изделия других разнообразных форм. К недостаткам органической изоляции следует отнести невысокую нагревостойкость, недостаточную стойкость к воздействию окружающей среды, склонность к старению в электрическом, тепловом и радиационном полях.

Неорганические электроизоляционные материалы получают как путем переработки природных материалов, так и искусственным смешением исходных неорганических компонентов и их спеканием при высокой температуре. Основными достоинствами неорганической изоляции является их высокая химическая стойкость и нагревостойкость. Неорганические материалы обладают повышенной теплопроводностью, стойкостью к старению в электрическом и радиационном полях. К недостаткам этих материалов следует отнести трудность обработки и переработки в электроизоляционные изделия, получение тонкой изоляции, повышенный вес и т.д.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с представленными на лабораторных стендах электроизоляционными материалами.

Записать электрические характеристики указанных преподавателем материалов, дать области их применения, достоинства и недостатки. Определить класс нагревостойкости материалов.

2. Указать полярные и неполярные диэлектрики из ниже перечисленных:

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1. Полистирол | 6. Полиэтилен |
| 2. Трансформаторное масло | 7. Поливинилхлорид |
| 3. Гетинакс | 8. Фарфор |
| 4. Миканит | 9. Полиимид |
| 5. Фторпласт -4 | 10. Эпоксид |

3. Перечислить основные электроизоляционные материалы, применяемые в качестве электрической изоляции в следующих электротехнических устройствах:

1. Изоляция электрических кабелей и проводов;
2. Изоляция обмоток электрических машин;
3. Изоляция трансформаторов;
4. Изоляторы линии передач.

Укажите, какие основные требования предъявляются к ним.

Контрольные вопросы

1. По каким электрическим характеристикам можно различить полярные и неполярные диэлектрики?
2. Какие электрические характеристики определяют пригодность диэлектрика для работы при постоянном токе и токе высокой частоты?
3. Опишите технологию получения электротехнического фарфора.
4. Дайте определение компаундов, приведите их основные свойства, их классификацию с точки зрения применения.
5. Как связаны между собой старение и свойства полимеров?
6. Что называется нагревостойкостью? К каким классам нагревостойкости относится полистирол, картон, фторопласт - 4, мусковит?
7. Бакелит, глифтал, их свойства, области применения.
8. Чем различаются свойства фторопласта-3 и фторопласта-4 и почему?
9. Назовите основные свойства и области применения эпоксидных полимеров.
10. Какие виды электроизоляционных лакокрасочных материалов вам известны? Назовите их области применения.
11. Что собой представляют слоистые пластики: гетинакс, текстолит, стекло-текстолит? Их свойства и применение.
12. Назовите достоинства и недостатки фарфора. Сравните прочность фарфора на сжатие и на разрыв.
13. В чем заключается различие между мусковитом и флогопитом по химическому составу, электрическим свойствам и нагревостойкости?
14. Каковы достоинства ситаллов по сравнению со стеклами?
15. Назовите основные материалы на основе слюды, используемые в качестве

Литература

1. Богородицкий Н.П., Пасынков В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. – Л.: Энергия, 1977. – 352 с.
2. Ян Шгоффа. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 199 с.
3. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергия, 1973 – 326 с.
4. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. – М.: Высшая школа, 1976. – 334 с.
5. Пасынков В.В. Материалы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1980.
6. Казарновский Д.М., Тареев Б.М. Испытание электроизоляционных материалов. – М.: Энергия, 1969.
7. Справочник по электротехническим материалам. – М.: Энергия, 1977. Т. 1-3.

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

Подписано к печати 04.07.2011 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 3,1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 249. Цена 44 с.

Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ “Текник” КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru

