

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГОУ ВО "БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

Кафедра систем энергообеспечения

Л.М. Маркарянц
Д.В. Кирдищев

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие
к выполнению практических работ по дисциплине
«Электротехническое материаловедение»
для студентов очной и заочной форм обучения

Направлений: 13.03.02- Электроэнергетика и электротехника
35.03.06- Агроинженерия
15.03.04- Автоматизация технологических
процессов и производств

Квалификация бакалавр

Брянск – 2015

УДК 621.319
ББК 31.2
М 25

Маркарянц Л.М. Электротехническое материаловедение: Учебно-методическое пособие для проведения лабораторных работ/ Маркарянц Л.М., Кирдищев Д.В. - Брянск. Издательство Брянского ГАУ, 2015.-38с.

Содержание учебно-методического пособия позволяет студентам подготовиться к выполнению практических работ, выполнять их, изучать свойства и характеристики электротехнических материалов.

Рецензент: д.т.н., профессор Погоньшев В.А.

Рекомендовано методической комиссией факультета энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол №1 от 16.09.2015г.

© Брянский ГАУ, 2015
© Маркарянц Л.М., 2015
© Кирдищев Д. В., 2015

Содержание

Практическая работа № 1. Электротехнические материалы в электрических двигателях	4
Практическая работа № 2. Электротехнические материалы, применяемые в магнитных пускателях	14
Практическая работа № 3. Освоение способов создания электрического контакта в процессе соединения проводов	19
Практическая работа № 4. Изучение материалов установочных проводов и силовых кабелей	24
Практическая работа №5. Изучение диэлектрической абсорбции диэлектриков	32

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЯХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с электротехническими и конструкционными материалами электрических двигателей.

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

2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

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

2.2. Изучить по плакату устройство электродвигателя.

2.3. Записать в отчёт марку электротехнической стали, применённой в электродвигателе и законспектировать показатели свойств и характеристики этой стали.

2.4. Записать в отчёт указанный на щитке двигателя класс изоляции. Из таблицы нагревостойкости изоляционных материалов выписать названия основных материалов и пропитывающих или связующих составов, соответствующих классу изоляции электродвигателя. Законспектировать основные показатели свойств и характеристики электроизоляционных материалов.

2.5. Записать в отчёт основные показатели свойств проводниковых материалов обмотки статора и ротора двигателя.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

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

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

Двигатель асинхронный

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

Рис. 1

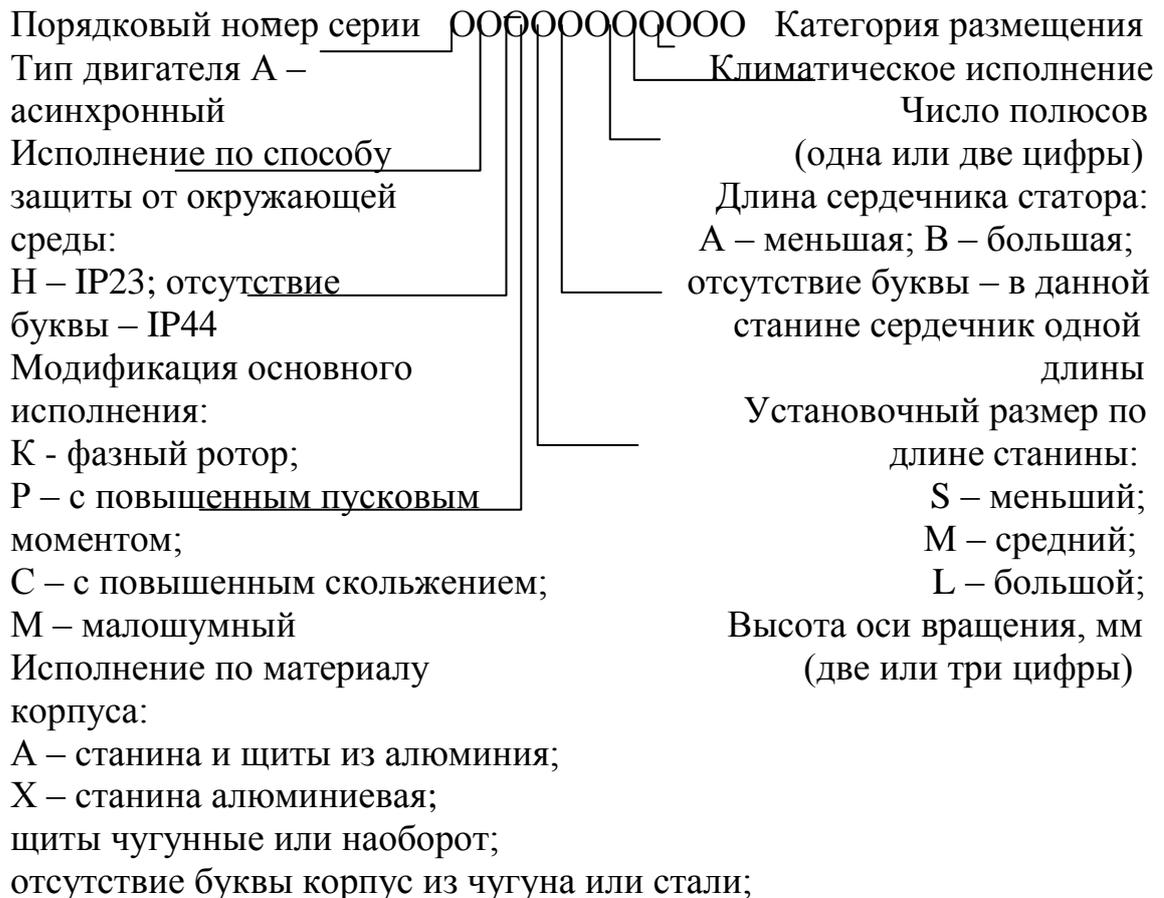


Рис. 2

3.1. Конструкционные материалы

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

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

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

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

3.2. Магнитные материалы электродвигателей

В электромагнитных устройствах автоматики, вычислительной и измерительной техники воздействие на магнитный элемент производится либо магнитным полем тока, проходящего по проводнику или обмотке, либо непосредственно магнитным полем (например, в феррозондах). Это магнитное поле является внешним по отношению к магнитному сердечнику — основе электромагнитных элементов. Основные характеристики магнитных материалов: μ магнитная проницаемость, H -напряженность магнитного поля.

Внешнее магнитное поле линейного проводника с током I характеризуется напряженностью магнитного поля (А / м):

$$H = I / (2\pi r) ,$$

где r — расстояние от проводника до точки, в которой определяется напряженность.

Если ток проходит по обмотке с числом витков ω , то он создает намагничивающую силу (Н. С.) или магнитодвижущую силу (М. Д. С.) (А):

$$F = I\omega .$$

Если эта обмотка равномерно намотана на ферромагнитный сердечник с одинаковым сечением S по всей его длине l (например, на кольцевой сердечник), то напряженность магнитного поля в сердечнике

$$H = I\omega / l .$$

Под действием н. с. в сердечниках магнитных элементов создается магнитный поток Φ . Если магнитный поток Φ проходит по сердечнику с обмоткой, имеющей ω витков, то потокосцепление обмотки (Вб):

$$\Psi = \Phi\omega .$$

Наряду с напряженностью магнитное поле характеризуется магнитной индукцией B (Тл); определяемой для равномерного поля выражением

$$B = \Phi / S ,$$

где S – площадь, через которую проходит магнитный поток.

Индуктивность (Гн)

$$L = \Psi / I .$$

Магнитная постоянная μ_0 , (магнитная проницаемость вакуума) представляет собой отношение магнитной индукции к напряженности магнитного поля в вакууме:

$$\mu_0 = B / H$$

и является физической константой, численно равной:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

Напряженность внешнего магнитного поля не зависит от свойств среды (от свойств вещества), где создается магнитный поток.

Магнитная же индукция определяется как напряженностью, так и свойствами среды (вещества), характеризующимися относительной магнитной проницаемостью μ , (или просто магнитной проницаемостью), которая показывает, во сколько раз проницаемость вещества больше или меньше проницаемости вакуума.

Магнитная индукция в среде (веществе)

$$B = \mu \mu_0 H$$

где $\mu \mu_0 = \mu_a$ – абсолютная магнитная проницаемость вещества.

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

Для двигателей серии 4А мощностью до 15...20 кВт применяется холоднокатаная сталь марки 2013 (2-холоднокатаная изотропная; 0- с содержанием кремния до 0,4% включительно (нелегированная); 1-при 1,5 Тл(магнитная индукция) и частоте 50 Гц; 3-порядковый номер типа стали), а для машин большей мощности - сталь марки 2212 (2-холоднокатаная изотропная; 2- с содержанием кремния свыше 0,8% до 1.8% включительно (слаболегированная) 1-при 1,5 Тл(магнитная индукция) и частоте 50 Гц; 2-порядковый номер типа стали). (Под легированием понимается добавление в электротехническую сталь кремния, что снижает потери на вихревые токи.)

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

3.3. Электроизоляционные материалы двигателей

Как известно электропроводность электроизоляционных материалов в отличие от проводников определена движением ионов под действием электрического поля, а не электронов.

Электроизоляционные материалы обладают очень слабой электропроводностью. Обусловленный этой электропроводностью ток именуется током утечки.

Ток может протекать как через весь объем диэлектрика, так и через его поверхность. Отсюда и различие в нём: объемный и поверхностный токи утечки.

Подобно току утечки имеют различие и два вида электрического сопротивления диэлектриков: объемное удельное сопротивление (ρ_V) и поверхност-

ное удельное сопротивление (ρ_s).

Причиной нагревания диэлектрика, а так же рассеивания энергии в окружающую среду являются токи утечки, что несёт за собой уменьшение энергии в диэлектрике; как правило, их называют мощностью диэлектрических потерь.

Нередко в технических расчётах вызванное поверхностным током утечки рассеяние энергии в окружающую среду пренебрегают, потому что оно не влияет как таковое на работу электрических аппаратов, машин и т.д. От чего главным определением диэлектрика является объемное удельное электрическое сопротивление. Данное сопротивление вещества равно сопротивлению, которое с ребром в единицу длины выражает куб, изготовленный из этого вещества, и току, протекающему через две противоположные грани перпендикулярно к ним.

Электроизоляционные материалы имеют значительное объемное удельное электрическое сопротивление: твердые – от 10^{16} до 10^{18} Ом-м, жидкие – от 10^9 до 10^{13} Ом-м, газообразные – от 10^{14} до 10^{16} Ом-м. В силу действия большого напряжения электричества, приложенного к электроизоляционному материалу определенной толщины, в нём может установиться большой ток. Такое опасное для человека явление называется электрическим пробоем.

Электрическая прочность – это равная напряжению величина, при которой может быть пробит электроизоляционный материал толщиной в единицу длины. Определяют электрическую прочность проверенным путем.

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

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

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

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

Таблица 1

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

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

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

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

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

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

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

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

мопластичными эмаль-лакама.

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

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

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

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

Большинство электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 5 О... 132 мм имеют класс изоляции по нагревостойкости В (130°C), а с высотой оси вращения 160...355 мм - класс изоляции F (155°C).

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

Плётка принимает на себя электрическую и механическую нагрузки, а волокнистая подложка за счёт хорошей смачиваемости её пропиточными составами связывает проводящие и изоляционные материалы, расположенные в пазах магнитопровода.

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

В качестве покровных составов применяют лаки и компаунды различных типов.

3.4. Проводниковые материалы двигателей

Различные металлы и, конечно, сплавы из них, относятся к твердым проводниковым материалам. Немного рассмотрим свойства, которые имеют твердые проводниковые материалы. Известно, что свободные электроны являются носителями электрических зарядов в металлах. Они движутся беспорядочно при отсутствии внешнего электрического поля. В одном определенном направлении свободные электроны в проводнике начинают движение под действием электрического поля, образуя в последствии

электрический ток.

Свойство металлов объясняется хорошей проводимостью электрического тока, а это значит металл обладает большой плотностью свободных электронов. Малое удельное сопротивление имеют химически чистые металлы. Как правило, сплавы по сравнению с чистыми металлами обладают большим удельным сопротивлением. Известно, что с повышением температуры сопротивление металлов увеличивается. Производя расчеты с целью выбора проводниковых материалов это необходимо учитывать, так как они нагреваются во время прохождения по ним электрического тока.

В среднем температурный коэффициент сопротивления чистых металлов составляет $4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Удельное сопротивление отдельных проводников при понижении температуры уменьшается, например: удельное сопротивление алюминия равно 0,05 нОм-м при температуре жидкого водорода 20°K , т.е. в 524 раза меньше, чем при температуре 20°C 293°K .

При охлаждении до определенной критической температуры, близкой к абсолютному нулю, у многих проводников, кроме золота, меди, серебра и некоторых других металлов, электрическое сопротивление скачкообразно падает до нуля. Это свойство называется у проводников сверхпроводимостью.

Широкое практическое применение в настоящее время находит явление сверхпроводимости, например, при сооружении трансформаторов, мощных электромагнитов, электрических машин, кабелей. Поддержание низких температур связано пока с большими материальными затратами, так как при работе электроустановок и электрооборудования обходится слишком дорого. Применяя проводниковые материалы в электроустановках, обращают внимание на плотность применяемых материалов, их удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления, химические и механические свойства, температуру их плавления.

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

ром выполняют медным изолированным проводом круглого сечения (двигатели малой и средней мощности). В двигателях большой мощности обмотки выполняют медными проводами прямоугольного сечения.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

- 4.1. Технические данные, приведённые на заводском щитке электродвигателя.
- 4.2. Расшифровка обозначений типа двигателя.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Арзамасов В.Б. «Материаловедение и технология конструкционных материалов». М.,2009.
- 6.2. Журавлева Л. В. «Электроматериаловедение». М.,2004.
- 6.3. Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. «Материаловедение». М.,2013.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЯХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с электротехническими и конструкционными материалами магнитных пускателей.

1.2. Изучить основные свойства и характеристики электротехнических материалов, применяемых в магнитных пускателях.

2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Для пускателей, указанных преподавателем, записать технические данные, приведённые на них заводом-изготовителем.

2.2. Изучить по плакатам устройство магнитных пускателей.

2.3. Ознакомиться с применяемыми в магнитных пускателях электротехническими и конструкционными материалами и законспектировать их характеристики и назначение. Определить назначение материалов.

2.4. Оформить отчёт.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

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

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

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

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

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

Пускатели степени защищённости IP54 (пылеводонепроницаемое исполнение) имеют уплотнение стыка половинок стальной оболочки. Ввод и вывод

проводов осуществляется через резиновые сальники, установленные в стальной оболочке. Такие пускатели предназначены для работы на открытом воздухе.

Технические данные магнитных пускателей серий ПМЕ, ПМА и ПМЛ приведены в табл. 2.

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

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

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

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

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

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

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

Материал рабочей поверхности контактов (сухарей) должен обладать

высокой износостойчивостью и дугостойкостью, а так же обладать малым переходным сопротивлением. Из чистых металлов для изготовления контактов используют медь, серебро, никель, вольфрам.

Однако чаще для контактов используются сплавы металлов:

медь - хром,

медь - серебро - кадмий,

серебро - медь.

Таблица 2

Тип пускателя	Величина пускателя	Номинальный ток (А) при защищенном исполнении	Наибольшая мощность (кВт) управляемого электродвигателя при напряжении:		Тип встраиваемого теплового реле	Номинальный ток теплового реле (А)
			220 В	380 В		
ПМЕ-000		3,0	0,6	1,1	ТРН-10А	3,2
ПМЕ-100	1	10,0	2,2	4,0	ТРН-10	10
ПМЕ-200	2	23,0	5,5	10,0	ТРН-25	25
ПМА-2000	2	23,0	5,5	11,0	РТТ-14,РТТ-14В	25
ПМА-3000	3	36,0	11,0	18,5	РТТ-21,РТТ-21Б	63
ПМА-4000	4	60,0	18,5	30,0	РТТ-21,РТТ-21Б	63
ПМА-5000	5	95,0	30,0	45,0	РТТ-31,РТТ-31Б	160
ПМА-6000	6	150,0	45,0	75,0	РТТ-31,РТТ-31Б	160
ПМЛ-1000	1	10,0	2,2	4,0	РТЛ-1000	25
ПМЛ-2000	2	25,0	5,5	11,0	РТЛ-1000	25
ПМЛ-3000	3	40,0	11,0	18,5	РТЛ-2000	80
ПМЛ-4000	4	63,0	18,5	30,0	РТЛ-2000	80
ПМЛ-5000	5	80,0	33,0	37,0	РТЛ-2000	80
ПМЛ-6000	6	100,0	30,0	45,0	РТЛ-3000	125
ПМЛ-7000	7	160,0	45,0	75,0	РТЛ-3000	200

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

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

Реле представляет собой пластмассовый корпус с двумя или тремя ячейками. В ячейках размещены биметаллические пластины и нагревательные элементы. Нагревательные элементы соединяют последовательно с главными контактами магнитного пускателя. Изготавливают нагревательный элемент в виде спирали из провода круглого или прямоугольного сече-

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

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

В реле предусмотрен регулятор тока срабатывания реле и кнопка ручного возврата контактов реле в исходное положение после очередного срабатывания и остывания биметаллической пластины.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

4.1. Технические данные пускателей ПМЕ, ПМА и ПМЛ.

4.2. Тип электротепловых реле и характеристика нагревательных элементов.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Почему магнитопровод набирают из отдельных изолированных пластин?

5.2. Из каких материалов изготавливают корпуса контакторов и электротепловых реле?

5.3. Какие компоненты входят в состав сплава - инвар?

5.4. Почему крайние пластины магнитопровода толще остальных?

5.5. Какими показателями характеризуются свойства электротехнической стали? Чем она отличается от обычной стали?

5.6. Какие материалы применяют для изготовления нагревательных элементов электротепловых реле?

5.7. Каким требованиям должен отвечать материал рабочей поверхности главных контактов пускателя?

5.8. Какие свойства материалов обеспечивают работоспособность биметаллических пластин?

5.9. Каково назначение короткозамкнутого витка на стержне магнитопровода?

6. ЛИТЕРАТУРА

6.1. Арзамасов В.Б. «Материаловедение и технология конструкционных материалов». М.,2009.

6.2. Журавлева Л. В. «Электроматериаловедение». М.,2004.

6.3. Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. «Материаловедение».М., 2013

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ОСВОЕНИЕ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Изучить правила техники безопасности при работе с электропаяльником, оловом и припоем

1.2 Ознакомиться практически с технологическим процессом припайки проводников к деталям электроаппаратуры.

Материалы и инструменты

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

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Надежность и экономичность работы электрических аппаратов, машин, приборов и электроустановок в целом зависят от качества электротехнических материалов и их применения, а также правильного выбора. О назначении, свойствах различных современных электротехнических материалов, работающих по электротехническим профессиям нужно знать о зависимости этих свойств от действия электрических и магнитных полей.

Прежде всего, классифицируют электротехнические материалы по способности проводить электрический ток. Полупроводниковые электроизоляционные и проводниковые материалы различают по этому признаку. Известно, что проводить электрический ток материал способен характерным удельным электрическим сопротивлением (можно просто удельным сопротивлением). Небольшое удельное сопротивление имеют проводники или же проводниковые материалы где-то порядка $10^{-6} - 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, и потому приходится отличными проводниками электрического тока. В качестве токоведущих частей их применяют в электроустановках. Общепринятая классификация проводниковых материалов отсутствует. Будем рассматривать следующие группы проводниковых материалов: материалы высокой проводимости; материалы с высоким удельным сопротивлением для резисторов и точных приборов; контактные материалы; сверхпроводники и криопроводники

Электроизоляционные материалы практически не проводят электрический ток, часто их называют, диэлектриками, обладают большим удельным сопротивлением, порядка $10^8 - 10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Они используются для изолирования токоведущих частей электроустановок. Электроизоляционные материалы можно подразделить:

по агрегатному состоянию:

Газообразные

Жидкие

Твёрдые

происхождению:

Природные неорганические

Искусственные неорганические

Естественные органические

Синтетические органические

Газообразные. У всех газообразных электроизоляционных материалов диэлектрическая проницаемость близка к 1 и тангенс диэлектрических потерь так же мал, зато мало и напряжение пробоя. Чаще всего в качестве газообразного изолятора используют воздух, однако в последнее время всё большее применение находит элегаз (гексафторид серы, SF₆), обладающий почти втрое бóльшим напряжением пробоя и значительно более высокой дугогасительной способностью. Иногда для изготовления электроизоляционных материалов применяют сочетание газообразных и органических материалов.

Жидкие — чаще всего используют в трансформаторах, выключателях, кабелях, вводах для электрической изоляции и в конденсаторах. Причём в трансформаторах эти диэлектрики являются одновременно и охлаждающими жидкостями, а в выключателях — и как дугогасящая среда (см. Масляный выключатель. В качестве жидких диэлектрических материалов прежде всего используется трансформаторное масло , конденсаторное масло, касторовое масло, синтетические жидкости (совтол).

Природные неорганические — наиболее распространённый материал слюда, она обладает гибкостью при сохранении прочности, хорошо расщепляется, что позволяет получить тонкие пластины. Химически стойки и нагревостойки. В качестве электроизоляционных материалов используют мусковит и флогопит, однако мусковит всё же лучше.

Искусственные неорганические: хорошим сопротивлением изоляции обладают малощелочные стёкла, стекловолокно, ситалл, но основным электроизоляционным материалом всё же является фарфор (полевошпатовая керамика). Эта керамика широко используется для изоляторов токонесущих проводов высокого напряжения, проходных изоляторов, бушингов и т. д. Однако из-за высокого тангенса диэлектрических потерь не годится для высокочастотных изоляторов. Для других более узких задач используется керамика — фторстеритовая, глинозёмистая, кордиеритовая и т. д.

Естественные органические: в последнее время в связи с расширением производства синтетических электроизоляционных материалов их применение сокращается. Выделить можно следующие — целлюлоза, парафин, пек, каучук, янтарь и другие природные смолы, жидкие - касторовое масло.

Синтетические органические: большая часть данного материала приходится на долю высокомолекулярных химических соединений — пластмасс, а т.ж. эластомеров. Существуют также синтетические диэлектрические жидкости.

Особыми электрическими свойствами обладают полупроводники. Широ-

ко используют полупроводниковые приборы в усилителях электрических сигналов, радиоэлектронных устройствах, выпрямителях переменного тока и многих других областях. Магнитные материалы составляют определенную группу. Свойством изменять магнитное поле обладают магнитные материалы, в которое их помещают. Им находят нужное применение в изготовлении трансформаторов, являющихся в них важной частью магнитопроводов, а также в электроизмерительных приборах, электрических машинах; их применяют для изготовления стабильных магнитов, и в прочих других деталях, применяемых в автоматике, радиоэлектронике, телефонной связи.

Из конструкционных электротехнических материалов изготавливают конструктивные элементы электроустановок, к которым относятся многие электроизоляционные и проводниковые материалы. Примером этого является ряд изделий из стали, пластмассы, керамики. Из керамики изготавливают основания электронагревательных приборов и реостатов, из пластмассы – корпуса электроизмерительных приборов, рукоятки рубильников, щитки, из стали – конструкции на которых крепят токоведущие части, щиты, корпуса электрических машин. Применяют также эмали, клеи, лаки, припой и подобные им материалы для изготовления и монтажа электроустановок. Их так же называют подсобными электротехническими материалами.

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

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

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

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

При пайке металлических частей применяют припой и флюсы. Припой представляют собой специальные сплавы, применяемые при пайке. Пайку осуществляют или с целью создания механически прочного (иногда герметичного) шва, или для получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением. При пайке места соединения и припой нагревают.

Так как припой имеет температуру плавления значительно ниже, чем соединяемый металл (или металлы), то он плавится, в то время как основной металл остается твердым. На границе соприкосновения расплавленного припоя и твердого металла происходят различные физико-химические процессы. Припой смачивает металл, растекается по нему и заполняет зазоры между соединяемыми деталями. При этом компоненты припоя диффундируют в основной металл, основной металл растворяется в припое, в результате чего образуется промежуточная прослойка, которая после застывания соединяет детали в одно целое.

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

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

В различных областях радиоэлектроники применяют мягкие и твердые припои.

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

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

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

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

Активные, или кислотные, флюсы готовят на основе активных веществ - соляной кислоты, хлористых и фтористых металлов и т. д. Эти флюсы интенсивно растворяют окисные пленки на поверхности металла, благодаря чему обеспечивается хорошая адгезия и высокая механическая

прочность соединения. Остаток флюса после пайки вызывает интенсивную коррозию соединения и основного металла. Применяют эти флюсы только в том случае, когда возможна тщательная промывка и полное удаление их остатков.

При монтажной пайке электрорадиоприборов применение активных флюсов категорически запрещено.

Б е с к и с л о т н ы м и ф л ю с а м и называют канифоль и флюсы, приготовляемые на ее основе с добавлением неактивных веществ (спирта, глицерина).

А к т и в и р о в а н н ы е ф л ю с ы приготавливают на основе канифоли с добавкой активизаторов - небольших количеств солянокислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты, солянокислого диэтиламина и т. п. Высокая активность некоторых активированных флюсов позволяет производить пайку без предварительного удаления окислов после обезжиривания.

А н т и к о р р о з и й н ы е ф л ю с ы получают на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений и растворителей, а также на основе органических кислот. Остатки флюсов не вызывают коррозии.

По мощности и характеру работы принято подразделять электропаяльники на маломощные (радиомонтажные, 10 -25 Вт), средней мощности (электротехнические, 40 – 65 Вт) и мощные (специальные, 100 Вт и более). В настоящей работе при пайке используются бытовые электропаяльники средней мощности на напряжение 220 В. Паяльный стержень обычно изготавливается из меди; она хорошо облуживается и легко поддается обработке напильником, что важно при периодическом затачивании жала. Жало паяльного стержня затачивают по углом 30 - 40⁰ и очищают напильником с насечками среднего размера. После заточки жала необходимо его облудить. Для этого жало разогретого паяльника погружают сначала во флюс, а затем, припой. Если какая-то часть жала с первого раза не облудилась, то операцию повторяют. После этого паяльник готов к работе. В целях обеспечения безопасности эксплуатации электропаяльника хорошо пользоваться подставкой с коробочкой для припоя и флюса.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Ознакомится со способами получения электрически неразъемного контакта.

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

3.3 Выполнить соединение проводов и других металлических деталей пайкой.

3.4 Результаты работы представить преподавателю.

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

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

4.1 Название и цель практического задания.

4.2 Описание процесса пайки.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. По каким основным признакам классифицируются электротехнические материалы?

5.2. Как классифицируются проводниковые материалы?

5.3. Какие способы создания электрического контакта используются в процессе соединения проводников?

5.4. Какие материалы применяют в качестве флюса при пайке меди?

5.5. Какие материалы используют для пайки меди?

5.6. Назначение и классификация электроизоляционных материалов.

5.7. Что понимают под нагревостойкостью диэлектрика?

5.8. Чем руководствуются при выборе электроизоляционных материалов?

5.9. Что представляет собой гетинакс?

5.10. Какие материалы используют при выполнении электромонтажных работ для изоляции токоведущих элементов?

6. ЛИТЕРАТУРА

6.1. Арзамасов В.Б. «Материаловедение и технология конструктивных материалов». М.,2009.

6.2. Журавлева Л. В. «Электроматериаловедение». М.,2004.

6.3. Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. «Материаловедение». М.,2013

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ УСТАНОВОЧНЫХ ПРОВОДОВ И СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Изучить приведенные в п.3 методических указаний (см. ниже) сведения о структуре условного обозначения установочных проводов и силовых кабелей. Ознакомиться со свойствами проводниковых материалов и материалов, токоведущих жил проводов и силовых кабелей

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

Законспектировать в отчете для этих образцов проводов следующие сведения;

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

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

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

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

3.1. Общие сведения об установочных проводах и материалах проводов
Установочные провода предназначены для распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях при неподвижной прокладке электропроводки внутри и вне помещений.

Установочный провод это одна или несколько токоведущих жил, каж-

дая из которых заключена в изоляцию. Изоляцию проводов выполняют преимущественно из поливинилхлорида, резины и полиэтилена

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

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

А - материал жилы (алюминий),

П - провод,

П - плоский, с разделительным основанием,

В - материал изоляции (поливинилхлорид)

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

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

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

Р - резиновая изоляция;

В - поливинилхлоридная изоляция,

П - полиэтиленовая изоляция,

РН - резиновая изоляция, не распространяющая горение.

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

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

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

ется то, что если его вынести из пламени, он перестанет гореть.

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

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

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

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

Основные характеристики ЭР:

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

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

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

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

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭТИЛЕНА

плотность,	1200	1300	кг/м ²	
электрическая прочность, Епр	20...Ом кВ/ мм 10' .			
удельное объемное сопротивление,	10" Ом м -30°С. .			
интервал рабочих температур,	1р+60°С			
диэлектрическая проницаемость,	4. ..5 0,03....0,08			
тангенс угла диэлектрических потерь,				

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

Допустимые токовые нагрузки на провода с поливинилхлоридной, резиновой и полиэтиленовой изоляцией при открытой и неподвижной их прокладке приведены в таблице 3.

Таблица 3

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

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

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

При этом должны учитываться следующие факторы:

способ прокладки электропроводки (открытая, скрытая, на тросах)
 характеристика помещения по условиям окружающей среды (сухое, влажное, сырое, особо сырое, пожароопасное, пыльное, особо сырое с химически активной средой, взрывоопасное),

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

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

При выборе материала токопроводящих жил руководствуются следующими

ми соображениями. Алюминий менее дефицитен и при одинаковой с медью токовой нагрузке легче и дешевле, чем проводники из меди

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

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

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

3.2. Общие сведения о силовых кабелях.

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

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

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

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

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

Структура условного обозначения кабелем включает;

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

Марка кабелей состоит из ряда последовательно расположенных букв, обозначающих материал жилы, материал изоляции и материал защитного покрова. Например, кабель АПВГ 3х16+1х10-660. АПВГ - марка кабеля; 3 - число основных жил; 16 - сечение каждой основной жилы в мм²; 1 - число вспомо-

гательных жил; 10 - сечение вспомогательной жилы в мм²; 660 - номинальное напряжение, В. Маркировка кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией имеет свои особенности. У кабелей с пластмассовой изоляцией кодирующую букву материала изоляции записывают на первом месте при медной токоведущей жиле и на втором месте - при алюминиевой, затем записывают букву материала оболочки например, кабель АПВГ - кабель с алюминиевыми жилами, изоляцией из полиэтилена, оболочкой из поливинилхлорида. Буква Г означает, что поверх оболочки отсутствует защитный покров.

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

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

Далее записывают код материала изоляции.

- Р - резиновая изоляция.

Например, кабель АНРБ - кабель с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение. Буква Б означает, что поверх оболочки наложена броня из стальных лент с антикоррозионным покрытием

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

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

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

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

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

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Название и цель лабораторной работы.
- 4.2. Структура условного обозначения проводов
- 4.3. В произвольной форме записывается характеристика материалов образцов провода и кабеля, возможное их применение.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 5.1. Расшифруйте марки проводов ПППС, ПГВ, АППВС, ПРН.
- 5.2. Какими буквами в марке провода кодируется резиновая изоляция не распространяющая горение?
- 5.3. Что означает буква С, стоящая в конце марки плоского провода⁷
- 5.4. Какой из изоляционных материалов плавает в воде - поливинилхлорид или полиэтилен?
- 5.5. Поясните, что это за процесс - "вулканизация резины"?
- 5.6. Какими недостатками обладает контактное соединение "медь - алюминий"?
- 5.7. В чем отличие кабеля от провода?
- 5.8. Какие показатели свойств являются основными для проводниковых материалов?
- 5.9. Назовите стандартные сечения токоведущих жил?
- 5.10. Как можно отличить в кабеле основную токоведущую жилу от нулевой жилы?
- 5.11. Можно ли на ощупь и по цвету отличить полиэтилен от поливинилхлорида?
- 5.12. Как в обозначении кабеля записывается число жил и их сечение, если одна из жил меньшего сечения?

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Арзамасов В.Б. «Материаловедение и технология конструкционных материалов». М.,2009.
- 6.2. Журавлева Л. В. «Электроматериаловедение». М.,2004.
- 6.3. Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. «Материаловедение». М.,2013

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АБСОРЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 5.1. Закрепить понятие диэлектрической абсорции диэлектриков.
- 5.2. Проверить опытным путем величины абсорции диэлектриков.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Диэлектрическая проницаемость и поляризованность. На рис. 3 изображены два плоских конденсатора, площадь электродов которых равна $S(\text{м}^2)$, а расстояние между ними $h(\text{м})$. В конденсаторе, изображенном на рис. 3а, между электродами вакуум, а на рис. 3б – диэлектрик. Если электрическое напряжение на электродах $U(\text{В})$, то напряженность электрического поля равна $E=U/h$ (В/м).

Электрический заряд, накопленный в конденсаторе с вакуумом, называется свободным зарядом и равен Q_0 (Кл).

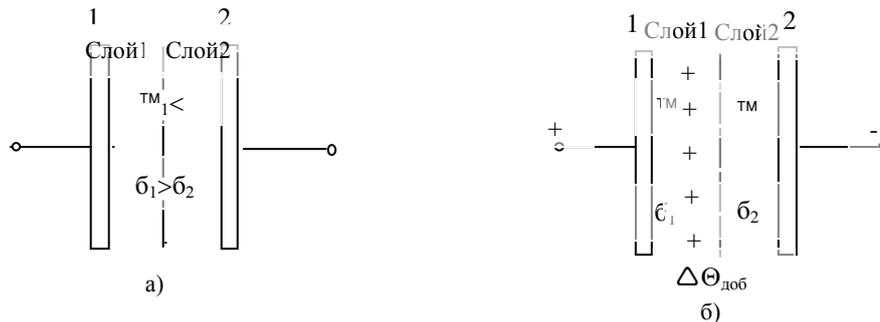


Рис. 3 Электрические заряды на электродах конденсатора при подаче напряжения U .

В электрическом поле в частицах, из которых построен диэлектрик, связанные положительные и отрицательные заряды смещаются. В результате образуются электрические диполи с электрическим вектором $m=q l$, где q – суммарный положительный (и численно равный ему суммарный отрицательный) заряд частицы, Кл; l – расстояние между центрами положительного и отрицательного заряда, плечо диполя, м (рис. 3б). Поэтому на поверхности диэлектрика образуются поляризационные заряды: отрицательные у положительного электрода, и наоборот. Для компенсации этих поляризационных зарядов источником электрического напряжения создается дополнительный связанный заряд Q_d . Суммарный полный заряд Q в конденсаторе с

диэлектриком равен

$$Q=Q_0+Q_d=\epsilon_r Q_0, \quad (1)$$

где ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость.

Электрическая емкость конденсатора с вакуумом между электродами равна

$$C_0=Q_0/U. \quad (2)$$

Емкость $C_0(\Phi)$ называют геометрической емкостью конденсатора.

Емкость C этого конденсатора с диэлектриком между электродами равна

$$C=Q/U \quad (3)$$

Из (2) и (3) с учетом (1) следует, что ϵ_r равна отношению емкости конденсатора с диэлектриком к емкости того же конденсатора, где между электродами вакуум:

$$\epsilon_r=C/C_0.$$

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

Емкость плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C=\epsilon_0 \epsilon_r \Sigma \Delta \eta, \quad (4)$$

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

Произведение $\epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon(\Phi/\text{м})$ называется *абсолютной диэлектрической проницаемостью*.

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

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

Диэлектрики, у которых имеет место только электронная поляризация, называются *неполярными* диэлектриками. В молекулах неполярных диэлек-

триков центры положительного и отрицательного зарядов совпадают, поэтому такие молекулы неполярные. Например, неполярными диэлектриками являются: газы – гелий, водород, азот, метан; жидкости – бензол, тетраформ (четырёххлористый углерод); твердые – алмаз, полиэтилен, фторопласт-4, парафин.

Для неполярных диэлектриков диэлектрическая проницаемость ϵ_r и коэффициент лучепреломления n_D связаны отношением

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

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

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

Таблица 4.

Диэлектрик	ϵ_r	Рассчитанный ТК $\epsilon_r \cdot K^{-1}$	Измеренный ТК $\epsilon_r \cdot K^{-1}$
Водород H ₂	1,00027	-0,92*10 ⁻⁶	-
Азот N ₂	1,0058	-1,98*10 ⁻⁶	-
Метан CH ₄	1,0095	-3,24*10 ⁻⁶	-
Бензол C ₆ H ₆	2,218	-0,96*10 ⁻³	-0,93*10 ⁻³
Тетраформ CCl ₄	2,163	-0,91*10 ⁻³	-0,69*10 ⁻³
Полиэтилен высоко- го давления (C ₂ H ₄) n	2,3	-0,81*10 ⁻³	-
Фторопласт – 4 (C ₂ F ₄)n	1,9-2,2	-0,33*10 ⁻³	-

Ионная упругая поляризация. Она происходит в кристаллических диэлектриках, построенных из положительных и отрицательных ионов, - в галоидно-щелочных кристаллах, слюдах, керамиках. В электрическом поле в таких диэлектриках происходит смещение электронных оболочек в каждом ионе – электронная поляризация. Кроме того, упруго смещаются друг относительно друга подрешетки из положительных и отрицательных ионов, т.е. происходит упругая ионная поляризация. Это смещение приводит к появлению дополнительного электрического момента m_i , увеличивающего поляризованность, а следовательно, и диэлектрическую проницаемость на

$\epsilon_{\rho}^{\text{TM}}$. Таким образом, диэлектрическая проницаемость ионного кристалла равна $\epsilon_{\rho}^{\text{TM}} = \epsilon_{\rho\infty}^{\text{TM}} + \epsilon_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$, где $\epsilon_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$ зависит от физической природы ионов, сил их взаимодействия и строения кристаллической решетки.

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

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

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

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

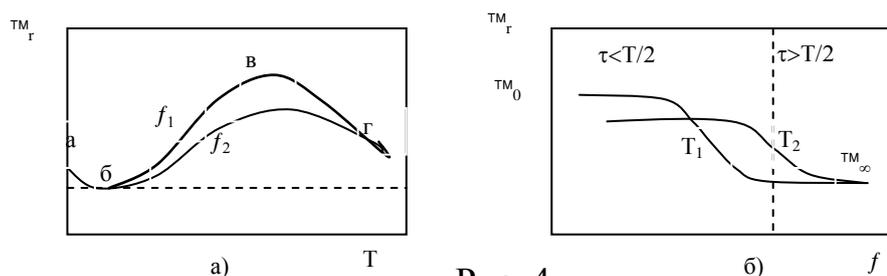


Рис. 4

Время релаксации прямо пропорционально вязкости диэлектрика и

обратно пропорционально температуре. Вязкость диэлектрика с ростом температуры экспоненциально уменьшается, поэтому уменьшается и τ . В этой области температур T_m^p с ростом температуры увеличивается участок бв. Уменьшение T_m^p на участке вг вызывается разориентацией полярных молекул в результате теплового движения, на участке аб – уменьшением плотности.

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

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

Ионно-релаксационная поляризация. Используемые в технике твердые диэлектрики могут иметь неплотную упаковку объема частицами. В таких материалах образуются ионы, которые в ходе тепловых колебаний перебрасываются из положений временного закрепления на расстояния, соизмеримые с расстояниями между частицами (10^{-10} м), и закрепляются в новых положениях. В электрическом поле перебросы становятся направленными. В результате в диэлектрике возникает различие в расположении центров положительного и отрицательного зарядов, т.е. появляется электрический момент. Такой процесс называют ионно-релаксационной поляризацией. С ростом температуры число ионов, перебрасываемых в новые положения, увеличивается, поэтому растут поляризованность и диэлектрическая проницаемость. На рис.5. приведена зависимость T_m^p от температуры для натриево-силикатного стекла, в структуре которого имеют место слабосвязанные ионы

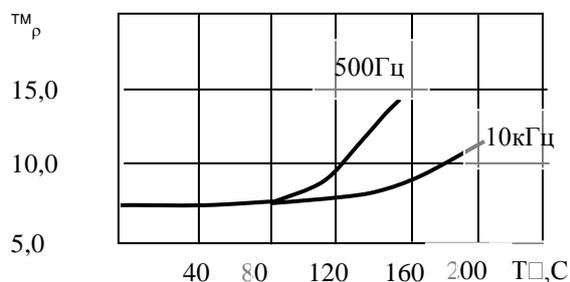


Рис. 5. Зависимость T_m^p натриево-силикатного стекла от температуры на разных частотах (по Р.Я. Ходаковской).

Миграционная поляризация. Электроизоляционные материалы

могут быть неоднородными, состоящими из диэлектриков, у которых ϵ и σ различаются. На рис. 6 а схематически изображен электрический конденсатор с неоднородным (двухслойным) диэлектриком, а на рис. 6,в – состоящим из многих блоков, как это имеет место, например, в поликристаллическом материале.

Если в двухслойном диэлектрике $\epsilon_{p1} < \epsilon_{p2}$ и $\sigma_1 > \sigma_2$, то при подаче на электроды постоянного напряжения в начальный момент времени плотность тока в первом слое будет больше. Это приведет к образованию на границе раздела положительного заряда $+\Delta\Theta_{доб}$ (рис. 6 б). По мере накопления заряда установится состояние, когда плотности токов в первом и втором слоях станут равными. В диэлектрике, состоящем из многих блоков с различными ϵ и σ , дополнительные заряды образуются на границе блоков (рис. 6 в). Этот вид поляризации называют межслоевой поляризацией. Наконец, в диэлектрике могут иметь место такие слабосвязанные ионы, которые в результате тепловых перебросов, направляемых полем, перемещаются к электродам и там закрепляются, локализируются. В результате близ электродов образуется объемный заряд $\Theta_{выс}$, обуславливающий электрический момент $M = \Theta_{выс} \eta$. Такую поляризацию называют объемно-зарядовой поляризацией или высоковольтной поляризацией. Процессы миграционной поляризации одни из самых медленных. Время на их завершение в пределах $1-10^3$ с.

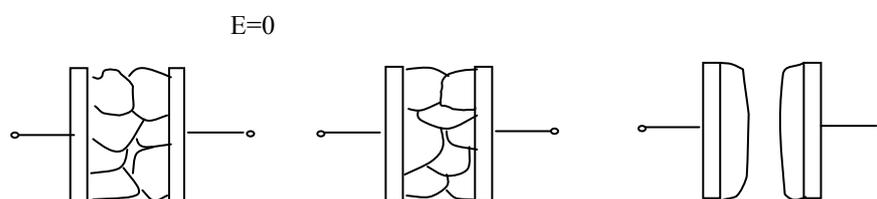


Рис. 5.16

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

3.1. Что понимается под поляризацией диэлектриков и какие виды поляризации диэлектриков известны?

3.2. Что такое абсолютная и относительная диэлектрическая проницаемость диэлектриков? В чем она измеряется?

3.3. Какое влияние оказывает вид поляризации диэлектриков на зависимость ϵ от частоты переменного напряжения и температуры?

3.4. Каково практическое значение относительной диэлектрической проницаемости диэлектриков ?

3.5. Является ли относительная диэлектрическая проницаемость диэлектриков константой материалов?

3.6. Что понимается по диэлектрическими потерями диэлектрика?

3.7. От каких факторов зависят диэлектрические потери?

3.8. Существуют ли диэлектрики без потерь?

3.9. Где применяют диэлектрики и каковы их электрические и физическо-механические свойства?

Учебное издание

Маркарянц Лариса Михайловна
Кирдищев Дмитрий Владимирович

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 9.12.2015 г. Формат 60x84¹/₁₆.

Бумага печатная. Усл. п. л. 2,20. Тираж 200 экз. Изд. №4171

Издательство Брянского государственного аграрного университета.
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ