

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Ульяновский государственный технический университет

ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛЫ

Методические указания
для студентов специальностей 14021165 и 14060465

Составитель Л. С. Бондаренко

Ульяновск 2005

УДК 621.365(076)

ББК 31.23 я7

Э45

Рецензент доктор технических наук профессор кафедры «Электропривод и АПУ» энергетического факультета Ульяновского государственного технического университета В. Н. Дмитриев

Одобрено секцией методических пособий научно-методического совета университета

Электроматериалы : методические указания для студентов специальностей 14021165 и 14060465 / сост. Л. С. Бондаренко. – Ульяновск : УлГТУ, 2005. – 23 с.

Указания предназначены для студентов безотрывной формы обучения. Дано пояснение основных тем дисциплины «Материаловедение», на которые следует обратить особое внимание при самостоятельном изучении предмета. Приведены задания для выполнения контрольных работ. Указания могут использоваться также студентами дневной формы обучения в часы самостоятельной работы.

Работа подготовлена на кафедре электроснабжения.

УДК 621.365(076)

ББК 31.23 я7

© Бондаренко Л. С., составление, 2005

© Оформление, УлГТУ, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	5
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	10
ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	10
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	23

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Материаловедение» входит в учебные планы студентов специальностей 14021165 и 14060465. Значительную долю этого курса составляет изучение электротехнических материалов и их свойств. Этому в настоящем издании уделяется основное внимание, так как правильный подбор материала в конструкциях, аппаратах, устройствах позволяет уменьшить габариты и их вес, а также повысить надежность работы.

Объем необходимых знаний по курсу «Материаловедение» устанавливается стандартами и учебными планами. Содержание курса для студентов электротехнических специальностей базируется на материалах общетехнических дисциплин (физика, химия, теоретические основы электротехники). Поэтому при самостоятельной работе над курсом по отдельным вопросам следует обращаться к учебникам этих дисциплин. В свою очередь сведения, излагаемые в курсе материаловедения, использует ряд последующих общетехнических и специальных дисциплин: электромеханика, передача и распределение электроэнергии, производство электроэнергии и др.

Настоящие методические указания предлагают вопросы по самостоятельному изучению теоретического курса, а также набор задач и вопросов к контрольной работе. Каждому студенту выдается индивидуальное задание, в котором указаны номера вопросов и задач для контрольной работы. При представлении студентом контрольной работы на рецензию к ней должно быть приложено его индивидуальное задание.

При изучении курса «Материаловедение» следует тщательно проработать каждый раздел, разобраться в физической сущности изучаемых явлений, не ограничиваясь формальными представлениями о характеристиках материалов и их зависимости от различных факторов. При рассмотрении отдельных конкретных видов материалов надо устанавливать, в какой мере их особенности могут быть объяснены ранее изученными общими закономерностями.

Механическое запоминание числовых значений характеристик материалов не рекомендуется, но студент должен отчетливо представлять себе порядок этих величин. Необязательно запоминание сложных химических формул, в частности, формул строения высокомолекулярных веществ, но студент должен уметь разобраться по виду формулы в важнейших особенностях данного вещества – его нейтральной или полярной природе, порядке величины диэлектрической проницаемости, удельных сопротивлений и т. п.

Ответы на вопросы должны даваться кратко, ясно и в исчерпывающей форме. При решении задач контрольных работ для всех величин, входящих, как в окончательное решение, так и в промежуточные выкладки, обязательно указывать единицы измерения, а на графиках – масштабы по осям координат.

Вопросы, не вошедшие в задание на контрольную работу, рекомендуется использовать в качестве вопросов для самопроверки.

Обязательно также выполнение лабораторных работ. Целью этих работ является более глубокое усвоение теоретических закономерностей, в частности,

зависимостей характеристик материалов от условий опыта, а также ознакомление с образцами некоторых материалов, свойства и применение которых изучаются в курсе. По выполнении лабораторных работ и оформлении соответствующих отчетов студент сдает зачет.

После изучения курса во всем объеме, выполнения и сдачи зачета по контрольной и по лабораторным работам студент допускается к сдаче экзамена или зачета по курсу.

В приводивших методических указаниях по отдельным темам курса указывается, какие из пунктов программы являются особо важными и обязательными для глубокого изучения.

Лабораторные работы следует рассматривать как заключительный этап изучения дисциплины. Поэтому, прежде чем приступить к лабораторным работам, студент обязан полностью проработать теоретическую часть курса и иметь зачет по контрольной работе. Без выполнения этих требований лабораторная проработка будет малоэффективна. Кроме этого, следует учесть, что лабораторные работы проводятся в том же объеме, что и при очном обучении, ввиду чего представляют для студента-заочника особую ценность, ибо дают студенту возможность контакта с преподавателем.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, студент должен пройти собеседование с преподавателем для проверки подготовленности конкретно к каждой работе. Поскольку большинство лабораторных работ проводится при повышенных напряжениях, особое внимание уделяется вопросам техники безопасности. Приступать к работе в лаборатории студент может лишь после того, как прослушает инструктаж преподавателя, детально ознакомится с правилами техники безопасности и распишется об этом в специальном журнале.

Без присутствия преподавателя или без его разрешения студент не имеет права включать (подавать) напряжение на стенд лабораторной работы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Понятие об электротехнических материалах, то есть об электроизоляционных, проводниковых, полупроводниковых и магнитных, об их характеристиках можно найти в указанной далее литературе.

При изучении электроизоляционных материалов особое внимание следует уделять разделу курса, в котором изложено описание явлений, происходящих в диэлектриках во время их работы в электрических полях.

В учебниках [1, 2] рассматривается явление поляризации диэлектриков, т. е. ограниченного смещения связанных зарядов или ориентации дипольных молекул, иначе процессов, обеспечивающих способность диэлектрика к накоплению электрических зарядов и созданию тем самым электрической емкости. В главе «Поляризация диэлектриков [2]» объясняются виды поляризации и понятие о диэлектрической проницаемости, а также классификация диэлектриков по виду поляризации, диэлектрическая проницаемость газов, жидких и твердых

диэлектриков. Особое внимание должно быть обращено влиянию внешних факторов (температуры, величины приложенного напряжения, частоты электрического поля и влажности материала) на характер изменения величин диэлектрической проницаемости. Студенту необходимо глубоко разобраться в приведенных графиках и уметь дать четкое объяснение характера изменения величин, приведенных на этих графиках.

Очень важно уяснить себе значение температурного коэффициента диэлектрической проницаемости и методов его определения. Надо иметь представление о диэлектрической проницаемости смесей и путях ее определения при помощи уравнения Лихтенеккера и формулы Оделевского.

В разделе «Электропроводность диэлектриков» [2] рассматриваются основные понятия сущности электропроводности в газах, жидкостях и твердых диэлектриках. Здесь следует обратить внимание на то, что электропроводность твердых диэлектриков может быть объемной и поверхностной, а поэтому, рассматривая вопрос влияния на электропроводность твердого диэлектрика различных внешних факторов, следует учитывать характер электропроводности (электронная, ионная и др.). Необходимо разобраться в понятиях «постоянная времени саморазряда» конденсатора и «ток абсорбции».

При изучении электропроводности газов следует изучить график зависимости тока в диэлектрике от напряжения и ознакомиться с понятиями самостоятельной и несамостоятельной электропроводности, а также процессом рекомбинации.

Изучая электропроводность жидких диэлектриков, следует учесть характерные особенности физико-химического строения жидкости и, следовательно, вытекающих из этого ее свойств как электроизоляционного материала. Специфичность электропроводности жидкости заключается в возможности присутствия в ее объеме во взвешенном состоянии инородных примесей, вязкости, растворимости, полярности, возможности к образованию молекул, а, следовательно, электрофореза.

Изучая графики влияния внешних факторов на электропроводность диэлектриков, надо уяснить причины тех или иных ее изменений.

В диэлектрике, находящемся в электрическом поле, наблюдаются диэлектрические потери, в результате чего он нагревается. В учебнике [1] в разделе «Диэлектрические потери» рассматриваются основные понятия, виды диэлектрических потерь в различных электроизоляционных материалах в зависимости от их полярности и агрегатного состояния (газы, жидкости, твердые диэлектрики). Здесь следует разобрать векторную диаграмму и формулы для определения общих и удельных диэлектрических потерь.

Особое внимание надо обратить на вопрос о диэлектрических потерях в нейтральных и дипольных диэлектриках и на зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры, частоты и величины приложенного напряжения. Эти закономерности надо тщательно проанализировать и дать объяснения хода изменения этого параметра.

В разделе «Пробой диэлектриков» [1] рассматриваются процессы пробоя диэлектриков в зависимости от их агрегатного состояния. Дается понятие электрической прочности и анализ явлений, предшествующих пробоем диэлектрика.

При изучении явления пробоя в газах следует обратить внимание на понятие ионизационного потенциала, начальной напряженности, раскрывающие сущность ионизационного процесса. Также надо уяснить сущность фотонной ионизации и ознакомиться с основами стримерной теории. Затем следует изучить явления пробоя газа в однородном и неоднородном электрических полях. На величину электрической прочности газа оказывают значительное влияние давление в газе и частота приложенного напряжения. Для уяснения этих вопросов следует детально разобраться с графиками влияния внешних факторов на электрическую прочность газов.

Изучая процессы пробоя жидких диэлектриков, необходимо разобраться в теориях образования токопроводящего канала между электродами (виды пробоя в зависимости от степени очистки жидкости – технически чистая, очищенная, тщательно очищенная). Необходимо суметь объяснить влияние температуры и содержание влаги в жидком диэлектрике на его электрическую прочность.

Рассматривая процессы пробоя твердых диэлектриков, следует изучить виды пробоя: электрический пробой однородных и неоднородных диэлектриков, электрохимический и тепловой пробой. Разбор этих явлений в учебниках сопровождается соответствующими графиками, которые нужно уметь объяснить.

Особое внимание следует уделить изучению теплового пробоя и разобраться в аналитическом выражении для пробивного напряжения при тепловом пробое, предложенном В. А. Фоком и Н. Н. Семеновым.

Дополнительно следует изучить: пробой газов при импульсном напряжении, газы с повышенной электрической прочностью, поверхностные разряды и испытания диэлектриков на пробой.

Правильное применение электроизоляционных материалов невозможно без учета их физико-механических и химических свойств. Эти свойства имеют большое значение при выборе материалов для использования в машинах, аппаратах и прочих устройствах, так как они определяют надежность работы и их срок службы.

Для оценки гигроскопичности необходимо понимание абсолютной и относительной влажности воздуха, способности материала смачиваться, впитывать влагу, и его влагопроницаемости.

Необходимо считаться и с механической прочностью материала на разрыв, сжатие и изгиб. Надо учитывать хрупкость, твердость и вязкость используемых диэлектриков. Дополнительно следует изучить жаростойкость, дугоустойчивость и искростойкость электроизоляционных материалов, а также тропикостойкость, воздухопроницаемость и плотность.

Для жидкого диэлектрика (трансформаторное масло) необходимо изучить понятие кислотного числа.

К тепловым свойствам диэлектриков относится нагревостойкость, которая имеет весьма важное значение. В связи с этим твердые диэлектрики отнесены к определенным классам нагревостойкости (они обозначены буквами Y, A, E, B, F, H, C). Жидкие диэлектрики оцениваются температурой вспышки их паров, температурой воспламенения самой жидкости. К тепловым свойствам относятся также тепловое старение, морозостойкость, теплопроводность.

Электроизоляционные материалы должны обладать определенной химической и радиационной стойкостью, в особенности к корпускулярным и волновым излучениям, что должно характеризоваться поглощением ими энергии без чрезмерной ионизации и способностью образовывать двойные связи в большей степени, чем обнаруживать разрыв цепей.

При изучении газовых диэлектриков и их свойств следует обратить особое внимание на газы повышенной электрической прочности и зависимости их пробивного напряжения от их химического состава и давления.

При изучении жидких диэлектриков следует обратить внимание на свойства трансформаторного масла и синтетических масел: совола, кремнийорганической и фторорганической жидкостей и установить их преимущества и недостатки в сравнении с трансформаторным маслом.

Особенно тщательно рекомендуется изучить раздел [2], в котором изложены общие сведения о высокомолекулярных органических веществах. Должны быть четко усвоены понятия о процессах полимеризации и поликонденсации, получении полимеров линейного и пространственного строения, о термопластичных и термореактивных полимерах.

Переходя к изучению темы «Смолы» [1, 2], особое внимание следует обратить на синтетические смолы, разделив их на два класса – термопластичные (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и др.) и термореактивные (фенолоформальдегидные, глифталевые и др.) и детально ознакомиться с их свойствами.

Важно также изучить фторорганические, полиамидные и кремнийорганические смолы в качестве представителей наиболее нагревостойких смол органического происхождения.

При ознакомлении с фенолоформальдегидными, полиэфирными, эпоксидными смолами следует обратить внимание на тот факт, что при некоторых обстоятельствах они могут обладать как термопластичными (новолак), так и термореактивными (бакелит) свойствами. Весьма полезно ознакомление с некоторыми свойствами других типичных синтетических смол. Следует обратить внимание на масла растительного происхождения, как имеющие достаточно широкое применение в электроизоляционной технике. Значительное место занимают также лаки, эмали и компаунды.

С развитием производства синтетических смол появилась возможность изготовления гибких пленок, обладающих малой толщиной, высокой электрической и механической прочностью. Студенту следует ознакомиться с конкретными видами и свойствами этих пленок, а также с одной их разновидностью – лакотканями.

При ознакомлении с пластмассами следует обратить внимание на технологию их изготовления, а также производство слоистых пластиков – гетинакса и текстолита – и на их электроизоляционные свойства.

Изучая эластомеры (каучуки), особое внимание следует обратить на синтетические каучуки, их свойства и применение.

В разделе «Неорганические диэлектрики» следует изучить неорганические стекла в зависимости их электрических свойств от состава, ознакомиться с получением стекловолонистой изоляции и с ситаллами.

При изучении темы «Керамические материалы», кроме общих положений об этих материалах надо обратить внимание на особенности свойств этих материалов от состава (электротехническая, радиотехническая керамика: высоковольтная, низковольтная, установочная, конденсаторная).

При изучении неорганического диэлектрика – слюда – необходимо обратить внимание на ее виды (натуральная, синтетическая), а также ознакомиться с материалами на основе слюды (микалекс, слюдинит, миканиты), их свойствами и применением.

Интересен совершенно отдельный вид изоляции – оксидная и фторидная изоляция. Особое внимание желательно обратить на пленки первого и второго классов и их применение в различных электротехнических устройствах.

Основные понятия о проводниковых материалах изложены в соответствующих разделах учебников. Очень важно подробно ознакомиться со следующими понятиями: удельное сопротивление и его температурный коэффициент, сверхпроводимость, сопротивление сплавов и термо-ЭДС. Рекомендуется также ознакомиться с характеристиками конкретных металлов.

При изучении металлов, обладающих высокой электропроводностью, следует обратить внимание на медные и алюминиевые электротехнические сплавы. В этом же разделе необходимо изучить свойства материалов высокого сопротивления (чистые металлы и сплавы) и их применение, а также припой и флюсы, жаростойкие, контактные, материалы для электровакуумных приборов, прецизионные сплавы (манганин, константан).

В разделе «Полупроводниковые материалы» [1, 2] необходимо изучить основные свойства полупроводников и влияние внешних факторов на электропроводность полупроводника, а также изучить физику электронно-дырочного перехода как явления, нашедшего широчайшее применение в технике сегодняшнего дня.

Здесь же особое внимание следует уделить свойствам германия, кремния и селена, особенно их применения в технике, например: для изготовления диодов, триодов, фотоэлементов, датчиков эффекта Холла и т. п.

Учитывая, что химические соединения иногда обладают свойствами, превосходящими свойства простых полупроводников, при изучении их следует уделить внимание карбиду кремния как материалу, применяемому при изготовлении резисторов и варисторов, используемому для тиритовых и силитовых разрядников, стабилизации напряжения, умножения частоты, расшифровки импульсов по амплитудам и т. п.

Большой практический интерес представляют силитовые стержни, применяемые как нагревательные элементы в высокотемпературных печах. При изучении магнитных материалов следует обратить большое внимание на электротехническую сталь, пермаллой, ферриты, магнитодиэлектрики и на материалы, выполненные на основе редкоземельных элементов, а также на другие магнитотвердые материалы.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Работа 1. Определение объемного и поверхностного сопротивления твердых диэлектриков.

Работа 2. Определение тангенса угла диэлектрических потерь, емкости конденсатора и диэлектрической проницаемости диэлектриков при частоте 50 Гц.

Работа 3. Определение электрической прочности воздуха.

Работа 4. Измерение пробивного напряжения жидких диэлектриков (трансформаторного масла).

Работа 5. Определение электрической прочности твердых диэлектриков.

Работа 6. Определение характеристик диэлектриков на высоких частотах при помощи куметра.

Работа 7. Определение кислотности трансформаторного масла.

Работа 8. Определение температуры размягчения аморфных диэлектриков.

Работа 9. Исследование магнитных материалов с помощью осциллографа.

Работа 10. Определение усадки заливочных и пропиточных материалов.

Работа 11. Распознавание электроизоляционных материалов.

Работа 12. Исследование магнитных свойств ферромагнетиков.

Из этого перечня студент-заочник выполняет те работы, которые определены преподавателем после беседы со студентом, ознакомления с характером его деятельности на производстве, с объемом знаний в области изучаемой дисциплины.

ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Электроизоляционные материалы

1. В чем заключается различие полярных (дипольных) и неполярных (нейтральных) веществ? Приведите примеры тех и других. Что называется дипольным моментом молекулы и в каких единицах он измеряется?

2. Перечислите и дайте определение основных электрических параметров, характеризующих качество материала диэлектрика. В каких пределах эти параметры изменяются в известных вам диэлектриках?

3. Что называется поляризацией диэлектрика? Как количественно оценивается поляризация диэлектрика? Что называется диэлектрической проницаемостью, диэлектрической восприимчивостью, поляризуемостью частицы?

4. Укажите основные виды поляризации диэлектриков. Как классифицируются диэлектрики по виду поляризации?

5. Какова зависимость диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков от частоты для нейтральной и для полярной жидкостей?

6. Какова зависимость диэлектрической проницаемости различных типов твердых диэлектриков от температуры и частоты?

7. Изложите особенности поляризации сегнетоэлектриков по сравнению с поляризацией обычных (линейных) диэлектриков.

8. Как определяется диэлектрическая проницаемость для смеси нескольких диэлектриков?

9. Укажите причины возникновения абсорбционного тока. Какова его зависимость от частоты?

10. Определите методом графического дифференцирования значения температурного коэффициента ТК диэлектрической проницаемости полистирола при температурах $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, воспользовавшись приведенным на рис. 1, а графиком зависимости диэлектрической проницаемости полистирола от температуры.

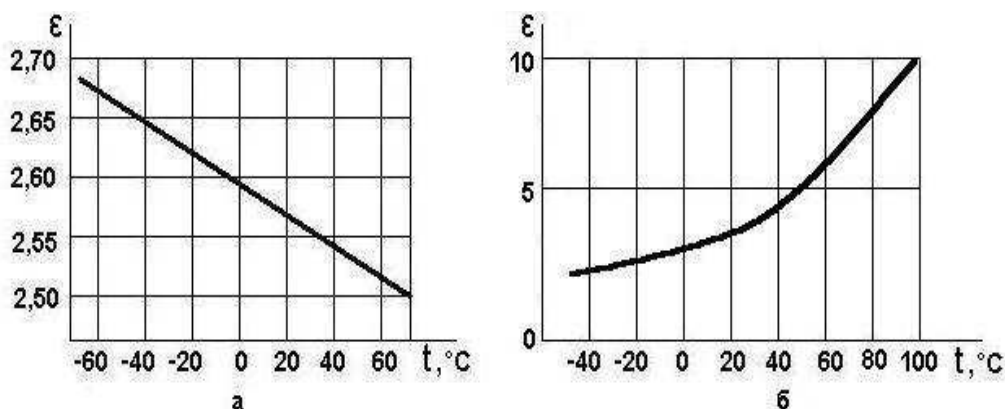


Рис.1. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры:
а - полистирол; б - полихлорвинил

11. Определите методом графического дифференцирования значения температурного коэффициента ТК диэлектрической проницаемости полихлорвинила при температурах $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, воспользовавшись приведенным на рис. 1, б графиком зависимости диэлектрической проницаемости полихлорвинила от температуры.

12. Диэлектрик конденсатора представляет собой тесную смесь двух керамических материалов: Т-80 и ультрафарфора. Каково должно быть соотно-

шение составных частей, чтобы температурный коэффициент диэлектрической проницаемости смеси был равен нулю? Чему равна диэлектрическая проницаемость такой смеси? Примите для материала Т-80 $\epsilon = 80$ и $\text{ТК}\epsilon = -7 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, для ультрафарфора $\epsilon = 8$ и $\text{ТК}\epsilon = +1 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$.

13. Постройте график зависимости диэлектрической проницаемости пористого политетрафторэтилена от его объемного веса, имея в виду, что для сплошного, не имеющего пор, политетрафторэтилена диэлектрическая проницаемость равна 2,0, а плотность 2,3 г/куб. см.

14. Радиочастотный коаксиальный кабель со сплошной изоляцией из полиэтилена имеет диаметр внутреннего провода 0,7 и внешний диаметр изоляции 7 мм. Определите емкость между внутренним проводом и наружной оболочкой кабеля (в пикофарадах на метр длины). Диэлектрическая проницаемость полиэтилена равна 2,3.

15. Для соблюдения условий температурной компенсации два керамических конденсатора соединены последовательно, ТКС_1 первого конденсатора равен $+120 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, а емкость его – 240 пФ. Какова должна быть емкость второго конденсатора, если его ТКС_2 составляет $1500 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$?

16. Постройте график зависимости ТК диэлектрической проницаемости канифоли от температуры, воспользовавшись приведенным на рис. 2 графиком зависимости диэлектрической проницаемости канифоли от температуры.

17. Двухслойный диэлектрик работает под переменным напряжением 1 кВ. Слои имеют толщину 2 и 4 мм и соответственно состоят из полистирола и полихлорвинила. Определите напряжение на обоих слоях и значения напряженности поля в них для двух случаев, когда температура равна -20 и $+50$ °С. Значения диэлектрической проницаемости полистирола и полихлорвинила при заданных температурах возьмите по рис. 1 и 2.

18. Двухслойный диэлектрик включен под переменное напряжение. Напряжение на первом слое составляет 6, на втором 12 кВ. Толщина слоев соответственно равна 1 и 4 мм. Определите диэлектрическую проницаемость первого слоя, если диэлектрическая проницаемость второго слоя равна 5.

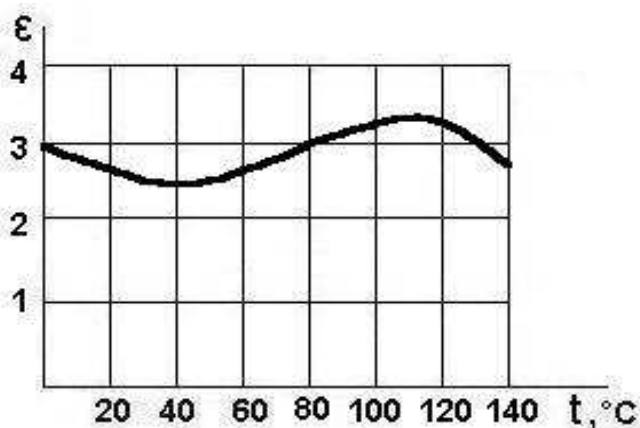


Рис.2. Зависимость диэлектрической проницаемости канифоли от температуры

19. Опишите различные виды электропроводности диэлектриков. В каких единицах измеряется удельное объемное сопротивление и удельная объемная проводимость различных электротехнических материалов, в том числе электроизоляционных.

20. Чем объясняется спадание тока в твердом диэлектрике при включении его под напряжение? С чем связаны быстрые и медленные процессы этого спадания в однородном диэлектрике?

21. Объясните зависимость удельной проводимости твердых диэлектриков от напряжения.

22. Охарактеризуйте поверхностную электропроводность твердых диэлектриков.

Какие материалы обладают наибольшим поверхностным сопротивлением и почему?

23. Начертите схему измерения удельного объемного сопротивления и укажите, какое назначение имеет заземление «охранного кольца».

24. На две противоположные грани кубика из микалекса с ребром 20 мм нанесены слои металла, служащие электродами, через которые кубик включается в электрическую цепь. Определите величину установившегося тока через кубик при постоянном напряжении 2 кВ, если удельное объемное сопротивление микалекса 10^{21} Ом·см, а удельное поверхностное сопротивление $5 \cdot 10^{10}$ Ом.

25. Определите удельное объемное сопротивление диэлектрика плоского конденсатора, если известно, что ток через конденсатор при постоянном напряжении 10 кВ равен $5 \cdot 10^{-7}$ А. Толщина диэлектрика 0,2 мм; площадь обкладок с каждой стороны 25 кв. см (поверхностной утечкой пренебрегите).

26. Полый цилиндр с наружным диаметром 50 мм, внутренним диаметром 35 мм и высотой 125 мм с удельным объемным сопротивлением $5 \cdot 10^{11}$ Ом·см и удельным поверхностным сопротивлением $2 \cdot 10^{11}$ Ом зажат между металлическими электродами, к которым приложено напряжение 1500 В постоянного тока. Определите ток, протекающий через цилиндр, и потери мощности в нем.

27. Керамический конденсатор ($\epsilon = 12$) был заряжен от источника напряжением 1,5 кВ и оставлен разомкнутым. Через 10 мин разность потенциалов на его обкладках оказалась равной 150 В. Определите удельное объемное сопротивление диэлектрика конденсатора (поверхностной утечкой пренебечь).

28. Между плоскими электродами помещен двухслойный диэлектрик, один из слоев имеет относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_1 = 2$, проводимость $\gamma_1 = 1 \cdot 10^{-8}$ Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ и толщину $D_1 = 1$ см, а другой – диэлектрическую проницаемость $\epsilon_2 = 5$, проводимость $\gamma_2 = 1 \cdot 10^{-12}$ Ом $^{-1}$ см $^{-1}$ и толщину $D_2 = 1,5$ см. Этот диэлектрик подключен на постоянное по времени напряжение с величиной, равной 10 кВ. Требуется определить величины напряженностей в обоих слоях при времени $t = 0$ и $t = \infty$ и построить график распределения потенциала между электродами. При решении задачи учесть, что один электрод заземлен, а другой изолирован.

29. Как изменяется $\operatorname{tg} \delta$ неполярной и полярной жидкостей при изменениях температуры и частоты? Дайте объяснение наличия двух максимумов в графике зависимости $\operatorname{tg} \delta$ от температуры для кабельной бумаги, пропитанной масло-канифольным компаундом (рис. 3).

30. Когда в изоляционном материале потери будут больше – при постоянном или переменном токе и почему?

31. Диэлектрик плоского конденсатора имеет следующие характеристики: удельное объемное сопротивление $10 \cdot 15 \text{ Ом} \cdot \text{см}$; $\operatorname{tg} \delta = 0,001$, $\epsilon = 5$. Размер обкладок конденсатора $50 \times 50 \text{ кв. см}$, толщина диэлектрика 25 мм . Определите:

а) величину тока утечки и рассеиваемую в диэлектрике конденсатора мощность при постоянном напряжении 5 кВ ;

б) рассеиваемую в диэлектрике конденсатора мощность при переменном напряжении 5 кВ и частотах 50 Гц и 50 кГц . Поверхностной утечкой пренебрегите. Приблизительно считайте, что характеристики диэлектрика от частоты не зависят.

32. От каких факторов зависит электрическая прочность воздуха?

33. Каково влияние химического состава газов на их электрическую прочность?

34. Какова зависимость электрической прочности газов от давления (при постоянной температуре)?

35. От чего зависит распределение напряженностей электрического поля в слоях двухслойного диэлектрика в случае его работы под переменным и постоянным напряжениями?

36. В чем заключается различие между тепловым и электрическим пробоем диэлектриков?

37. Как зависит пробивное напряжение от толщины диэлектрика и почему?

38. Что называется кривой ионизации электрической изоляции и какое практическое значение она имеет?

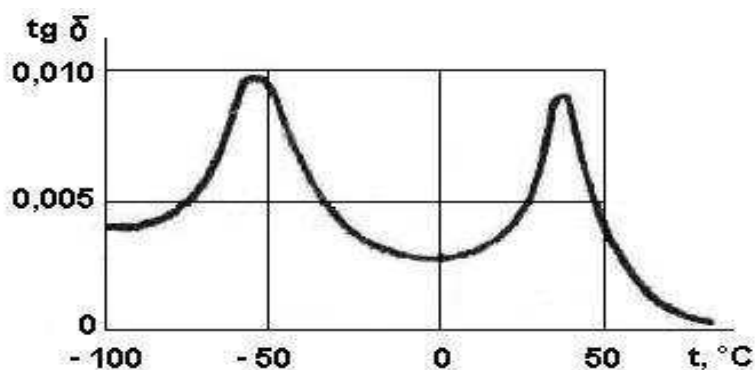


Рис.3. Зависимость от температуры $\operatorname{tg} \delta$ бумаги, пропитанной масло-канифольным раствором

39. Медный провод сечением 10 кв. мм имеет полихлорвиниловую изоляцию толщиной 1 мм, снабженную в целях экранировки медной оплеткой. Определите потери мощности в изоляции на 10 м провода при температурах +50 и -20 °С и частотах 50 и 400 Гц, если напряжение между жилой и заземленной оплеткой равно 220 В. Диэлектрическую проницаемость полихлорвинила возьмите из рис. 2. Величину $\operatorname{tg} \delta$ полихлорвинила при -20 °С примите равной 0,05, а при +50 °С равной 0,1.

40. Керамический конденсатор, диэлектриком которого является материал типа Т-150, имеет емкость 500 пФ. Найдите величину диэлектрических потерь в этом конденсаторе при напряжении 1 кВ и частотах 1 кГц и 1 МГц, если известно, что угол диэлектрических потерь диэлектрика конденсатора равен 2'.

41. Какова зависимость электрической прочности газов от расстояния между электродами и от формы последних?

42. Как влияет на величину пробивного напряжения длительность приложения напряжения, температура и форма электрического поля при электрическом и электротепловом характере пробоя?

43. Опишите зависимость пробивного напряжения и электрической прочности от толщины диэлектрика.

44. Имеются два плоских конденсатора: а) воздушный с расстоянием между электродами 4 мм; б) двухслойный, в котором изоляция состоит из слоя воздуха толщиной 3 мм и пластины толщиной 1 мм из твердого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью 5 и электрической прочностью 75 кВ/см. Постройте график распределения напряженности электрического поля в конденсаторе без твердого диэлектрика и с ним при напряжении на обкладках 8 кВ (эффективное значение) и проанализируйте надежность конструкции в обоих случаях.

45. Диэлектрик конденсатора образован двумя слоями стекла толщиной по 5 мм, $\epsilon = 5$, между которыми имеется воздушный зазор в 1 мм. К электродам конденсатора приложено напряжение частотой 50 Гц, постепенно повышающееся. При каком значении напряжения произойдет разряд в воздушном зазоре? Как изменится величина этого напряжения, если воздух в зазоре будет заменен элегазом?

46. Миканит состоит из 10 слоев слюды толщиной по 26 мкм и из 9 слоев лака толщиной по 5 мкм. Удельное объемное сопротивление слюды 10^{16} Ом·см, лака – 10^{13} Ом·см, диэлектрическая проницаемость слюды 8, лака – 4. Электрическая прочность слюды 75 кВ/мм, лака – 50 кВ/мм. Определите пробивное напряжение листа миканита:

а) при постоянном напряжении;

б) при частоте 50 Гц.

Считайте приближенно, что приведенные характеристики слюды и лака не зависят от частоты.

47. Определите пробивное напряжение композиции из двух диэлектриков: воздуха и фарфора. Толщина воздушной прослойки 0,1 мм, толщина фарфора 5 мм. Оба диэлектрика плоской формы. Расчет произвести для постоянно-

го и переменного напряжения, принимая электрическую прочность воздуха равной 3 кВ/мм, а фарфора – 75 кВ/мм.

48. Что называется влажностью, гигроскопичностью, смачиваемостью, влагопроницаемостью электроизоляционных материалов? Какое практическое значение имеют эти характеристики?

49. Какие электроизоляционные материалы отличаются высокой гигроскопичностью? Какими способами можно уменьшить гигроскопичность?

50. Что называется нагревостойкостью электроизоляционных материалов? Каково ее практическое значение?

51. Опишите сущность процессов теплового старения двух-трех электроизоляционных материалов (по Вашему собственному выбору).

52. Опишите классы нагревостойкости электрической изоляции.

53. Какое практическое значение имеет теплопроводность электроизоляционных материалов? В каких единицах измеряется удельная теплопроводность?

54. Какое практическое значение имеет температурный коэффициент расширения электроизоляционных материалов? В каких единицах измеряется этот коэффициент?

55. Какое практическое значение имеет растворимость электроизоляционных материалов? Какие материалы обладают высокой и низкой растворимостью в разных растворителях? Приведите конкретные примеры.

56. Чем отличаются органические диэлектрики от неорганических по составу? Назовите по 2–3 органических и неорганических диэлектрика и укажите их основные характеристики, в частности, допустимую рабочую температуру.

57. Какие газы находят применение в качестве электрической изоляции?

58. Укажите известные Вам газы, обладающие повышенной по сравнению с воздухом электрической прочностью, и их основные особенности.

59. Перечислите важнейшие жидкие электроизоляционные материалы и основные области их применения.

60. Что представляет собой трансформаторное масло? Укажите его основные особенности как электроизоляционного материала и как охлаждающей среды.

61. В чем заключается старение трансформаторного масла? Какие факторы ускоряют и замедляют старение масла?

62. Опишите свойства совтола в сравнении со свойствами трансформаторного масла. Какова связь электроизоляционных свойств совтола с его химическим составом?

63. Чем объясняется технико-экономическая целесообразность максимального расширения производства и использования синтетических электроизоляционных полимеров?

64. Какие синтетические полимеры находят особенно широкое применение в электроизоляционной технике?

65. Укажите различие процессов полимеризации и поликонденсации.

66. Опишите свойства гетинакса, укажите область его применения и опишите кратко технологию его изготовления.

67. Укажите, какими преимуществами обладает стеклотекстолит в сравнении с обычным текстолитом и приведите данные, подтверждающие его преимущество.

68. Что представляет собой текстолит, какие материалы входят в его состав, какими свойствами он обладает и какова вкратце технология его изготовления?

69. Какие пропитывающие составы применяются при изготовлении лакотканей?

70. Чем отличаются друг от друга термопластичные и терморезистивные смолы? Назовите несколько тех и других смол и кратко опишите их основные свойства.

71. Как получают полистирол и полиэтилен? Приведите структурные формулы этих материалов. Укажите их основные электрические характеристики, области применения в электроизоляционной технике и допустимые рабочие температуры.

72. Опишите состав, свойства и возможности применения полихлорвинила в электроизоляционной технике. Свяжите свойства материала с его химическим составом и строением молекул.

73. Как получают термопластичные и терморезистивные фенолоформальдегидные смолы?

74. Укажите свойства и области применения в электротехнике важнейших полиэфирных смол.

75. Опишите особенности эпоксидных смол и укажите область их применения.

76. Укажите основные виды кремнийорганических электроизоляционных материалов, их преимущества, недостатки и возможности.

77. Охарактеризуйте фторорганические электроизоляционные материалы (фторопласт 4, фторопласт 3).

78. Опишите важнейшие природные смолы и возможности использования их в электроизоляционной технике.

79. Какие масла являются высыхающими? В чем заключается сущность процесса высыхания растительных масел?

80. Опишите свойства и применение в электроизоляционной технике битумов и компаундов на их основе. Какими способами можно повысить и понизить температуру размягчения битума?

81. Опишите важнейшие воскообразные материалы, применяемые в электроизоляционной технике.

82. В чем заключается отличие лаков от компаундов? Для чего применяются те и другие в электроизоляционной технике?

83. Какие лаки (по химической природе и свойствам основы и растворителя) являются лаками печной и воздушной сушки? Приведите конкретные примеры для лаков этих двух групп.

84. Какую лакоткань – черную или светлую – следует использовать при изготовлении изоляции маслонаполненного трансформатора?

85. В чем различие между смолами и воскообразными веществами?

86. Перечислите и сопоставьте разные способы очистки масла и укажите, когда и как они применяются. Сравните их по достигаемой эффективности и по экономичности.

87. Опишите важнейшие виды лакотканей. К каким классам нагревостойкости они относятся?

88. Опишите важнейшие виды синтетических и искусственных гибких пленок, укажите области применения их в электроизоляционной технике.

89. Опишите различные виды электроизоляционных бумаг и картонов, их свойства и области применения в электро- и радиопромышленности.

90. Дайте определение и классификацию электроизоляционных пластических масс. Каковы основные составные части пластмасс? В чем заключаются особенности пластмасс без наполнителя?

91. Как классифицируются пластмассы в зависимости от связующего и наполнителя?

92. Опишите важнейшие процессы изготовления изделий различной формы из пластических масс.

93. Укажите особенности и области применения в электроизоляционной технике натурального каучука и различных видов синтетических каучуков.

94. В чем заключается сущность процесса вулканизации каучука? Для чего применяется вулканизация? Что такое эскапон? Каковы его свойства?

95. Как классифицируются электроизоляционные стекла по химическому составу? Как зависят от состава электроизоляционные свойства стекол и какими путями улучшают эти свойства?

96. Как получается стекловолокно? Опишите его свойства (в сравнении со свойствами других известных вам волокнистых материалов) и укажите области применения.

97. Какие материалы называются керамическими? Укажите важнейшие типы и области применения керамических электроизоляционных материалов.

98. Из каких сырьевых материалов изготавливается фарфор? Опишите процесс производства и свойства готового фарфора.

99. Чем обусловлена усадка фарфора и какое практическое значение она имеет?

100. Для чего и каким образом производится глазуровка фарфора?

101. Где применяются слюда и изделия на ее основе? Дайте классификацию видов слюды по свойствам и назначению.

102. Укажите важнейшие виды радиокерамических материалов с малым углом диэлектрических потерь, их особенности и области применения в радиопромышленности.

103. Укажите особенности и области применения керамических материалов с особо высокой диэлектрической проницаемостью, в том числе сегнетокерамических материалов.

104. Опишите способ получения фибры, ее свойства и области применения в электротехнике.

105. Что представляют собой новые виды слюдяных материалов – слюдиниты и слюдопласты? Чем объясняется экономическая целесообразность использования этих материалов вместо миканитов?

106. Укажите основные виды миканитов (включая микаленты и микафоллии), их свойства (обратите внимание на классы нагревостойкости и области применения в электро-, машино- и аппаратостроении).

107. Дайте классификацию электроизоляционных стекол по их назначению. Опишите стеклоэмали и их применение в электроизоляционной технике.

108. Что такое асбест? Дайте его сравнение с другими известными волокнистыми материалами.

109. Какая изоляция называется оксидной и как она получается на различных металлах и сплавах? Укажите возможности применения оксидной изоляции в электро- и радиопромышленности.

110. Что представляет собой фторидная изоляция?

111. Как влияет состав стекла на его электропроводность? Опишите зависимость электропроводности стекол от температуры.

112. Как влияют наполнители на физико-механические свойства пластмасс?

113. Что такое пресс-порошки? Как получают из них изделия?

114. Укажите свойства пластмасс, получаемых на основе эпоксидных, полиэфирных и кремнийорганических смол.

115. Перечислите известные Вам эластомеры, их особенности и электрофизические свойства. Где они применяются?

116. Назовите известные Вам электроизоляционные лаки и эмали. Составьте таблицу их электрофизических свойств и сформулируйте рекомендацию по применению этих материалов в электромашиностроении.

117. Чем отличается радиотехническая керамика от изоляторного фарфора? Какие специальные требования предъявляются к радиотехнической керамике?

118. Каковы свойства глиноземистой установочной и магнезиальной высокочастотной керамики?

119. Каковы основные свойства ферромагнитной керамики (ферритов)?

Проводниковые материалы

120. Опишите характер электропроводности проводниковых материалов.

121. Что называется удельным сопротивлением и температурным коэффициентом удельного сопротивления проводниковых материалов? В каких единицах они измеряются и какова их величина у различных металлов и сплавов?

122. Опишите медные и алюминиевые сплавы, их назначение и основные свойства.

123. Опишите сталеалюминиевые провода и проводниковый биметалл, их свойства и области применения.

124. Опишите свойства твердой и мягкой меди и области применения той и другой в электротехнике.

125. Какое влияние оказывает на свойства меди присутствие в ней примесей, в частности кислорода?

126. Дайте сравнение свойств меди и алюминия. Мотивируйте технико-экономическую необходимость замены меди алюминием.

127. Назовите марки сплавов на основе системы железо-никель-хром, укажите их физические и механические свойства и применение.

128. Из каких материалов изготавливаются щетки для электрических машин? Укажите основные характеристики щеток.

129. Как изменяется удельное сопротивление сплава двух металлов при изменении содержания каждого компонента от 0 до 100 %. Приведите конкретные примеры.

130. Перечислите наиболее широко применяемые сплавы высокого сопротивления с указанием величин удельного сопротивления и температурного коэффициента удельного сопротивления. Укажите назначение этих сплавов и допустимые рабочие температуры.

131. Какие сплавы высокого сопротивления применяются в измерительных приборах, реостатах, электронагревательных приборах и почему?

132. Какой режим работы (в отношении частоты включения и отключения) наиболее желателен для нихрома в электронагревательных приборах и почему?

133. Укажите важнейшие материалы, применяемые для изготовления термопар. Как зависит термо-ЭДС от разности температур спаев термопары?

134. Определите потери мощности в голом медном проводе длиной 100 м и сечением 16 кв. мм при температурах провода -20 и $+60$ °С, если величина тока в проводе равна 75 А.

135. Два отрезка медной и алюминиевой проволоки длиной по 1 м имеют одинаковое электрическое сопротивление. Какой из отрезков весит меньше и насколько, если сечение медной проволоки равно 4 кв. мм?

136. Определите размеры (сечение и диаметр) алюминиево-медной проволоки (алюминий внутри, медь снаружи), предназначенной для замены медной проволоки контрольных кабелей сечением 10 кв. мм, обладающей той же проводимостью. Примите, что сечение меди составляет 20 % общего сечения алюминиево-медной проволоки. Данные об алюминии и меди возьмите из учебника.

137. Сопоставьте размеры и вес алюминиевой проволоки сечением 6 кв. мм и биметаллической (сталь-медь), имеющей ту же проводимость, что и алюминиевая проволока. Примите сечение меди в биметаллической проволоке равным сечению стали. Данные об алюминии, меди и стали возьмите из учебника.

138. Сопротивление провода при температурах $+20$ и 100 °С равно соответственно $6,1$ и $9,0$ Ом. Определите среднее значение температурного коэффициента сопротивления этого провода и укажите, какому металлу оно соответствует. Чему равно сечение провода, если его длина 1000 м? Изменением размеров провода при изменении температура пренебрегите.

139. Мощность, потребляемая электронагревательным элементом при напряжении 220 В, равна 500 Вт. Подсчитайте длину требуемой для изготовления этого элемента нихромовой и константановой проволоки диаметром $0,2$ мм. Нагревательный элемент из константана работает при температуре $+400$ °С, а элемент из нихрома работает при температуре $+900$ °С. Данные о нихроме и константане возьмите из учебника.

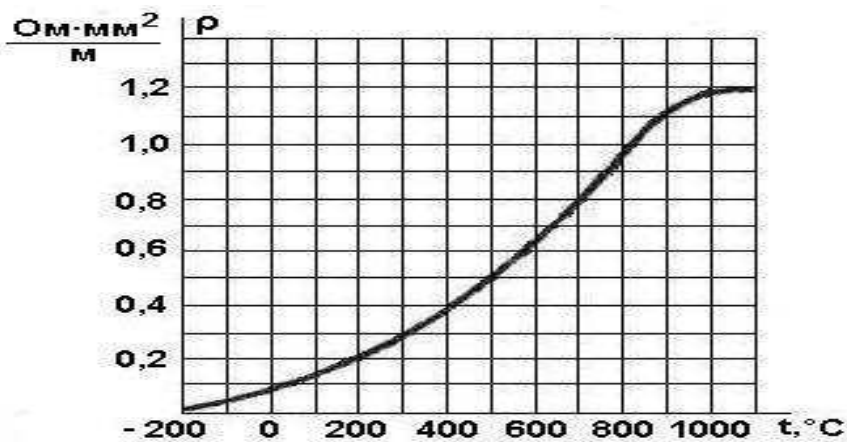


Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления технически чистого железа от температуры

140. Определите температурный коэффициент удельного сопротивления технически чистого железа при температурах 0 , $+400$ и $+900$ °С, воспользовавшись приведенным на рис. 4 графиком зависимости удельного сопротивления железа от температуры.

141. Кратко опишите электротехнические изделия из угля, наиболее важные для Вашей специальности.

Полупроводниковые материалы

142. Охарактеризуйте важнейшие электрофизические свойства германия и кремния.

143. Что такое собственные полупроводники? Приведите примеры. Напишите выражение для электропроводности собственного полупроводника.

144. Что собой представляют n -полупроводник и p -полупроводник? Напишите выражение для электропроводности примесного полупроводника.

145. Опишите влияние освещенности и температуры на электропроводность полупроводника.

146. Опишите влияние напряжения и примесей на электропроводность полупроводника.

147. Что собой представляют варисторы и термисторы? Опишите их применение.

148. Что называется порогом фотоэффекта в полупроводниках?

149. Что называется *pn*-переходом? В чем заключается принцип действия полупроводниковых выпрямителей?

150. Что такое фотосопротивления и фотоэлементы? Какими свойствами они обладают и где применяются?

151. Кратко опишите область и эффективность применения полупроводников в радиотехнике.

152. В чем заключается эффект Холла и как с помощью эффекта Холла определяется тип электропроводности полупроводников?

Магнитные материалы

153. Опишите основные характеристики магнитных материалов.

154. Что называется коэрцитивной силой, основной кривой намагничивания и магнитострикцией? Опишите применение этих характеристик.

155. Опишите виды потерь в магнитных материалах и возможности их уменьшения.

156. Укажите пути снижения потерь в магнитопроводах электротехнических машин и аппаратов.

157. Какие материалы называются магнитомягкими и основные требования, предъявляемые к ним? Применение их.

158. Какие материалы называются магнитотвердыми и каковы основные требования, предъявляемые к ним? Применение их.

159. Опишите материалы на основе редкоземельных элементов, их свойства и применение.

160. Опишите различные виды чистого железа и возможности использования его в качестве магнитного материала.

161. Опишите железо-никелевые сплавы с высокой магнитной проницаемостью.

162. Что представляет собой пермаллой и альсифер? Опишите их свойства и применение.

163. Что представляет собой листовая электротехническая сталь? Как влияет содержание кремния на ее электрические, магнитные и механические свойства?

164. Опишите свойства и применение магнито-твердых сплавов (альни, альнико, магнико и др.).

165. Что представляют собой ферриты? Укажите их основные свойства и назначение.

166. Опишите применение высокочастотных и низкочастотных ферритов. Укажите различие их свойств.

167. Что представляют собой магнитодиэлектрики? Укажите их основные свойства и назначение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы. / Н. П. Богородицкий, В. В Пасынков., Б. М Тареев. –Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1985.
2. Богородицкий Н. П. Теория диэлектриков. / Богородицкий Н. П. и др. –М.: Энергия, 1965.
3. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Корицкого Ю. В., Пасынкова В. В., Тареева Б. М. Т. 1-3. М.: Энергоатомиздат, 1986–1988.

Учебное издание

ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛЫ

Методические указания
для студентов специальностей 14021165 и 14060465

Составитель **Бондаренко Людмила Семеновна**

Редактор Н. А. Евдокимова

Подписано в печать 19.11.2005.
Формат 60x84/16 Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,30. Тираж 50 экз. Заказ .

Ульяновский государственный технический университет
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.
Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.