

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

Б1.О.05.02 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ

*Методические указания к самостоятельной работе
по направлению подготовки*

*13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата),
профиль подготовки «Энергообеспечение предприятий»*

**Мурманск
2020**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие рекомендации к изучению курса «Дополнительные разделы физики» (ДРФ) и «Дополнительные главы физики (ДГФ)	4
1.1. Работа над программой курса.....	4
1.2. Работа в сессию для студентов заочного обучения.....	5
1.3. Работа над контрольным заданием	6
1.4. Сдача зачёта (экзамена) по курсу «ДГФ», «ДРФ».....	8
1.5. Программа курса «ДГФ», «ДРФ».....	10
1.6. Список рекомендованной литературы	16
2. Темы и задания контрольной работы по курсу «ДГФ», «ДРФ».....	17
3. Приложения.....	32
3.1. Приложение 1. Оформление титульного листа контрольной работы (РГР).....	32
3.2. Приложение 2. Оформления внутренней стороны листа обложки.....	33
3.3. Приложение 3. Оформление списка использованной литературы	34

1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ (ДГФ) ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ (ДРФ)

Уважаемый студент!

Вам предстоит изучить учебный курс «Дополнительные главы физики» (или «Дополнительные разделы физики») и сдать по нему либо зачёт, либо экзамен¹. Курс посвящён изучению электрических, магнитных и тепловых свойств материалов, используемых во всех отраслях техники.

Изучение свойств электротехнических материалов невозможно без знания некоторых разделов курса общей физики, таких как: поведение диэлектриков в электрическом поле; электропроводность полупроводников и диэлектриков; магнитное поле в веществе. Отметим, что курс общей физики направлен, в первую очередь, на изучение общих законов, описывающих поведение физических объектов в различных силовых полях. Исходя из вышесказанного, в курсе общей физики невозможно уделить должное внимание изучению свойств электротехнических материалов, а также особенностей их использования в практических целях. Именно по этой причине в учебные планы Ваших направлений обучения, кроме курса общей физики, вводится курс «Дополнительные главы физики» (либо «Дополнительные разделы физики»)².

Студенты дневного отделения изучают названные выше курсы в течение учебного семестра. Курс заканчивается либо зачётом, либо экзаменом³.

Студенты заочного обучения изучают курс в течение учебного года. На установочной сессии студенты посещают лекции (возможно, и практические занятия) и получают задание на работу в семестре. В экзаменационную сессию они будут выполнять лабораторные работы, а также сдавать зачёт (или экзамен).

Студентам заочного отделения рекомендуется в межсессионный период проделать необходимый объём учебной работы по освоению изучаемых дисциплин с тем, чтобы успешно сдать зачёт (или экзамен) в экзаменационную сессию.

1.1. РАБОТА НАД ПРОГРАММОЙ КУРСА

Каждому студенту, независимо дневного или заочного отделения, необходимо выполнить определённый объём учебной работы по освоению курса, «Дополнительные главы физики» (или «Дополнительные разделы физики») а именно:

1. Необходимо изучить учебный материал по программе курса, представленной в разделе 2, пользуясь списком рекомендованной литературы и другими доступными источниками.

¹ В зависимости от учебного плана направления обучения (или специальности).

² В зависимости от учебного плана направления обучения (или специальности).

³ В зависимости от учебного плана направления обучения (или специальности)

2. Необходимо выполнить контрольное задание (контрольную работу или расчётно-графическую работу (РГР)⁴). Ваше контрольное задание состоит из семи частей, названия которых приведены ниже:

- Общие сведения об электротехнических материалах.
- Поляризация диэлектриков.
- Электропроводность диэлектриков.
- Диэлектрические потери.
- Пробой диэлектриков.
- Магнитные свойства электротехнических материалов.
- Физико-химические свойства электротехнических материалов.

Каждый студент получит контрольное задание, номер которого соответствует его номеру в учебной карточке преподавателя, ведущего занятия в группе по изучаемому курсу.

Порядок оформления контрольного задания будет рассмотрен в разделе «Работа над контрольным заданием». Очевидно, что порядок оформления не зависит от формы обучения.

Если Вы студент заочного отделения, то после того, как Вы выполните контрольное задание, Вы должны будете передать его методисту, который работает с Вашей группой. Методист передаст контрольное задание на кафедру Общей и прикладной физики для проверки. Если Ваше контрольное задание выполнен правильно, то на обложке тетради будет стоять надпись «к защите» и подпись преподавателя. Если в работе будут существенные ошибки, то они будут указаны в Вашей тетради. В этом случае Вам необходимо будет внести исправления в контрольное задание и вновь передать его методисту. Не рассчитывайте, что Вы успеете исправить ошибки в экзаменационную сессию. Вы будете загружены текущими занятиями. Вносите все исправления в контрольное задание в межсессионный период.

Если Вы студент дневного отделения, то контрольное задание Вам будет выдано в электронном виде в начале семестра. Вы должны выполнить его и сдать на проверку в сроки, указанные преподавателем. Если Ваша работа будет иметь неточности и ошибки, то их следует устранить в сроки, названные преподавателем, работающим с Вашей группой.

1.2. РАБОТА В СЕССИЮ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

Как правило, студенты заочного обучения имеют две сессии (за учебный год): установочную и экзаменационную. В период установочной сессии на лекционном занятии Вы получите методические рекомендации по изучению курса «Дополнительные главы физики» (или «Дополнительные разделы физики»), а также задания к контрольной работе (или РГР), сможете задать преподавателю вопросы по изучению курса.

⁴ В зависимости от учебного плана направления обучения.

Для того чтобы закрепить теоретический материал, изученный Вами самостоятельно в межсессионный период, во время пребывания на экзаменационной сессии с Вами будут проведены практические и лабораторные занятия. Вам будет предложено выполнить определённое число лабораторных работ по курсу и сдать правильно оформленные отчёты. Все подробности этой работы Вы узнаете в экзаменационную сессию. Старайтесь не пропустить эти занятия, поскольку специально Вашей группе будет выделено учебное время для работы в лаборатории.

1.3. РАБОТА НАД КОНТРОЛЬНЫМ ЗАДАНИЕМ

Контрольное задание (контрольная работа или РГР) выполняется как студентами дневного, так и студентами заочного отделения. Требования к оформлению контрольного задания изложены ниже.

1. Контрольная работа (или РГР⁵) выполняется в обычной тетради «в клеточку» (обязательно!) от руки⁶. Не следует использовать общие тетради или листы формата А4. Распечатка электронного файла недопустима.

2. На обложку тетради наклеивается титульный лист, который распечатывается на принтере. Если у Вас нет возможности распечатать титульный лист на принтере, то в этом случае допускается оформление титульного листа «от руки» – чертёжным шрифтом. **Образец** оформления титульного листа представлен в приложении 1.

3. На внутренней части листа обложки Вам следует написать номер выполняемого варианта и в столбик выписать номера и темы заданий Вашего варианта, добавив два дополнительных столбца для замечаний преподавателя. Образец оформления внутренней стороны листа обложки представлен в приложении 2.

4. *Задания следует выполнять в том порядке, в каком они указаны в таблице* «Варианты контрольных заданий». Каждое задание начинайте с новой страницы.

5. *Следует переписать полное условие задания.* Затем, пропустив строку, приступайте к ответу на вопрос задания.

6. Содержание ответа на вопрос задания должно соответствовать теме задания и полностью раскрывать смысл положений, перечисленных в задании. Тема задания должна быть полностью раскрыта.

7. В тексте должны быть ссылки на использованные Вами литературные источники. Ссылка на источник указывается в квадратных скобках. Например, [4]. Цифра 4 – это порядковый номер источника в списке использованной Вами литературы.

В конце контрольной работы (или РГР) должен быть указан список использованной Вами литературы. Названия литературных источников, использованных для подготовки контрольного задания, располагайте в алфавитном

⁵ В зависимости от учебного плана направления обучения

⁶ Необходимый объём тетради Вы сможете обсудить с преподавателем на занятиях.

порядке. Если Вы пользовались материалами из сети Интернет, укажите адрес сайта, которым Вы пользовались. Образец оформления списка литературы приведён в приложении 3.

8. Работа должна быть выполнена самостоятельно, на основе изучения рекомендованной литературы. Не используйте в тексте термины и понятия, которые не известны Вам и смысл которых Вы не можете объяснить.

9. Писать следует аккуратно, разборчивым почерком, чтобы преподаватель без затруднений мог понять, что Вы написали. Каждую новую мысль начинайте с «красной строки». Между строками текста также должен быть интервал с тем, чтобы строки читались отдельно (не «лепите» строки друг на друга). Никакие ссылки на «плохой почерк» не принимаются. Если Вы считаете, что у Вас «плохой почерк», то пишите печатными буквами или чертёжным шрифтом.

Если Ваше контрольное задание не будет удовлетворять вышеперечисленным требованиям, то оно не будет проверяться до тех пор, пока Вы не оформите его в соответствии с требованиями.

10. Рисунки и графики должны быть оформлены с использованием чертёжных принадлежностей. Если рисунок сложный, то допускается вклеивание распечатанных из литературы рисунков. Рисунок (или график) обязательно сопровождается подписью со ссылкой на литературный источник, из которого взят рисунок.

11. В таблице приведены номера заданий, соответствующие различным вариантам. Напоминаю, что номер варианта Вам определит преподаватель, который будет работать с Вашей группой. Если Вы по уважительной причине пропустите первое занятие, то должны будете связаться с преподавателем лично и узнать номер варианта Вашего задания.

Таблица.

Варианты контрольных заданий по курсу «Дополнительные главы физики»
(или «Дополнительные разделы физики»)

№ варианта	Номера заданий по темам курса						
	Тема 1	Тема 2	Тема 3	Тема 4	Тема 5	Тема 6	Тема 7
1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2
3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3
4	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4
5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6
7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7
8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8
9	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9
10	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10
11	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11

12	1.12	2.12	3.12	4.12	5.12	6.12	7.12
13	1.13	2.13	3.13	4.13	5.13	6.13	7.13
14	1.14	2.14	3.14	4.14	5.14	6.14	7.14
15	1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15
16	1.16	2.16	3.16	4.16	5.16	6.16	7.16
17	1.17	2.17	3.17	4.17	5.17	6.17	7.17
18	1.18	2.18	3.18	4.18	5.18	6.18	7.18
19	1.19	2.19	3.19	4.19	5.19	6.19	7.19
20	1.20	2.20	3.20	4.20	5.20	6.20	7.20
21	1.1	2.2	3.3	4.4	5.1	6.4	7.5
22	1.2	2.1	3.5	4.2	5.5	6.8	7.9
23	1.9	2.4	3.1	4.3	5.8	6.3	7.7
24	1.7	2.3	3.4	4.1	5.9	6.1	7.4
25	1.10	2.5	3.2	4.7	5.2	6.5	7.1
26	1.6	2.9	3.10	4.8	5.6	6.9	7.10
27	1.4	2.7	3.8	4.5	5.10	6.7	7.3
28	1.8	2.8	3.7	4.6	5.3	6.2	7.8
29	1.3	2.6	3.9	4.9	5.4	6.6	7.2
30	1.5	2.10	3.6	4.10	5.7	6.10	7.6

1.4. СДАЧА ЗАЧЁТА (ЭКЗАМЕНА) ПО КУРСУ «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ» (ИЛИ «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ»)

Для того чтобы успешно сдать зачёт по курсу «Дополнительные главы физики» (или «Дополнительные разделы физики»), Вам необходимо:

1. Выполнить контрольное задание, сдать его на проверку, внести необходимые исправления (если будут сделаны замечания). Контрольное задание считается успешно выполненным, если на обложке будет стоять пометка преподавателя, проверявшего работу, – «к защите».

2. Подготовиться к выполнению, выполнить и защитить определённое число лабораторных работ. Всю необходимую информацию по выполнению лабораторных работ Вы получите на занятиях, посвящённым лабораторным работам.

3. Во время сдачи зачёта преподаватель побеседует с Вами по теме Вашего контрольного задания («защита» контрольного задания), чтобы убедиться, что Вы его выполнили самостоятельно и разбираетесь в представленном материале.

4. Если формой промежуточного контроля по дисциплине «Дополнительные главы физики» (или «Дополнительные разделы физики») является зачёт, то для получения оценки «Зачтено» Вам необходимо выполнить все виды учебных заданий, предусмотренных рабочей программой дисциплины (контрольное задание, лабораторные работы), с оценкой «зачтено».

5. Если формой промежуточного контроля по дисциплине «Дополнительные главы физики» (или «Дополнительные разделы физики») является «зачёт с оценкой» или «экзамен», то оценка выставляется на основании критериев, изложенных в следующем разделе.

**1.4.1. КРИТЕРИИ ВЫСТАВЛЕНИЯ ОЦЕНКИ
ПО КУРСУ «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ»
(ИЛИ «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ»)**

Критерии выставления оценки дифференцированного зачёта.

I. Студент получает оценку зачтено (отлично):

1. Все виды работ (РГР, лабораторные работы, контрольные работы) выполнены:

- сданы в указанный преподавателем срок;
- выполнены *с малым числом замечаний*;
- замечания устранены в указанный преподавателем срок.

2. К зачёту все виды работ (РГР, лабораторные работы, контрольные работы) зачтены, окончательная (после исправлений) оценка за любой вид работ должна быть «4» или «5» (с преобладанием «5»).

II. Студент получает оценку зачтено (хорошо):

1. Все виды работ (РГЗ, лабораторные работы, контрольные работы) выполнены:

- сданы в указанный преподавателем срок;
- выполнены *со средним числом замечаний*;
- замечания устранены в указанный преподавателем срок.

2. К зачёту все виды работ (РГР, лабораторные работы, контрольные работы) зачтены, оценка за любой вид работ (после исправления) может быть «3», «4» или «5» (с преобладанием «4» или «5»).

III. Студент получает оценку зачтено (удовлетворительно).

1. Все виды работ, или какие-либо из перечисленных (РГР, лабораторные работы, контрольные работы):

- не выполнены в сроки, указанные преподавателем;
- выполнены с большим числом замечаний;
- замечания не устранены в указанный преподавателем срок и вплоть до зачёта;

2. Если студент успевает устранить замечания во время проведения зачёта, то он получает оценку «удовлетворительно». При этом оценка за любой вид работ должна быть не менее «3⁻».

IV. Студент получает оценку не зачтено (не удовлетворительно).

Все виды учебных работ, или какие-либо из перечисленных (РГР, лабораторные работы, контрольные работы):

- не выполнены в сроки, указанные преподавателем, и/или не выполнены к моменту сдачи зачёта;
- выполнены с огромным числом замечаний, и замечания не устранены на зачёте.

Критерии выставления оценки экзамена

1. Студент, допущенный к экзамену, должен выполнить все требования, предъявляемые для получения дифференцированного зачёта по дисциплине с оценкой «3», «4» или «5».

2. Дополнительно на экзамене проверяются умения студента с той или иной степени глубины осваивать теоретический материал, как выносимый на лекции, так и изучаемый самостоятельно.

I. Студент получает оценку «отлично», если (в дополнении к п.1.): он владеет знаниями и умениями дисциплины в полном объеме рабочей программы, достаточно глубоко осмысливает изучаемый материал; самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на все вопросы экзаменационного билета, умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать, и систематизировать изученный материал, выделять в нем главное; устанавливать причинно-следственные связи; четко формирует ответы; проявляет умение собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из теоретических источников; материал для самостоятельного изучения проработан достаточно глубоко и в полном объеме.

II. Студент получает оценку «хорошо», если (в дополнении к п.1.): он владеет знаниями и умениями дисциплины почти в полном объеме программы (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценные ответы на вопросы билета; не всегда выделяет наиболее существенное, не допускает вместе с тем серьезных ошибок в ответах; проявляет умение собирать и использовать информацию из теоретических источников, однако при этом имеются некоторые пробелы в понимании и (или) объяснении изученного материала; материал для самостоятельного изучения проработан не в полном объеме (и/или недостаточно глубоко).

III. Студент получает оценку удовлетворительно, если (в дополнении к п.1.): он владеет обязательным объемом знаний по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов; материал для самостоятельного изучения проработан в недостаточном объеме и недостаточно глубоко.

IV. Студент получает оценку «неудовлетворительно, если все виды работ, или какие-либо из перечисленных (РГР, лабораторные работы, контрольные работы):

– не выполнены в сроки, указанные преподавателем, и/или не выполнены к моменту сдачи экзамена;

– выполнены с огромным числом замечаний, и замечания не устранены к экзамену;

– если студент устранил все ошибки в обязательных видах учебной работы (внесённых в рабочую программу дисциплины) к моменту сдачи экзамена,

но не освоил обязательного минимума теоретических знаний по дисциплине, не способен ответить на вопросы билета даже при дополнительных наводящих вопросах экзаменатора.

**1.5. ПРОГРАММА КУРСА «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ»
(«ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ»),
или ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ**

Тема 1. Общие сведения об электротехнических материалах. Роль электротехнических материалов в современной электротехнике, электроэнергетике, автомобилестроении. Классификация материалов по применению. Функции, которые выполняют материалы. Электротехнические материалы: проводники, диэлектрики, полупроводники, магнитные материалы (магнитомягкие и магнитотвёрдые). Удельная электрическая проводимость электротехнических материалов. Закон Ома (в дифференциальной форме). Удельное электрическое сопротивление материала ρ , его связь с удельной электрической проводимостью материала и значение, характерное для проводников, полупроводников, диэлектриков.

Вопросы для самоконтроля (тема 1).

1. Приведите классификацию электротехнических материалов по применению. Назовите 4 основные функции, которые выполняют материалы.

2. Назовите 4 основные группы электротехнических материалов. Укажите, где они применяются.

3. Назовите основную характеристику электротехнических материалов. Как она связана с удельным электрическим сопротивлением материала. Запишите закон Ома в дифференциальной форме.

4. Охарактеризуйте области применения материалов с особыми физическими свойствами (высокие упругие свойства, сплавы с особыми свойствами теплового расширения, сплавы с особыми свойствами малого линейного расширения).

Тема 2. Поляризация диэлектриков. Диполь, плечо диполя. Электрический дипольный момент. Напряжённость электрического поля на продолжении оси диполя и на перпендикуляре, восстановленном из середины плеча диполя. Типы диэлектриков: неполярные, полярные и ионные кристаллы. Три вида поляризации диэлектриков: электронная, ионная, дипольная. Время релаксации. Величины, описывающие электрическое поле в диэлектриках: вектор напряжённости электрического поля, вектор электрического смещения и вектор поляризуемости, их взаимосвязь. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ и восприимчивость χ вещества, их взаимосвязь. Вектор электрического смещения \vec{D} , его связь с вектором напряжённости электрического поля \vec{E} и вектором поляризованности \vec{P} . Сторонние и связанные заряды, связь вектора \vec{D} и поверхностной плотности сторонних зарядов. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости вещества TK_ϵ . Зависимость ϵ диэлектри-

ков от различных факторов: температуры и напряжённости электрического поля.

Вопросы для самоконтроля (тема 2).

1. Дайте определение диполя и электрического дипольного момента.
2. Покажите, чему равна напряжённость электрического поля на продолжении оси диполя.
3. Покажите, чему равна напряжённость электрического поля на перпендикуляре, восстановленном из середины плеча диполя.
3. Какая характерная особенность неполярных диэлектриков, и как они ведут себя при внесении в электрическое поле?
4. Какая характерная особенность полярных диэлектриков, и как они ведут себя при внесении в электрическое поле?
5. Что такое ионные кристаллы и как они ведут себя при внесении в электрическое поле?
6. Что такое поляризация? Охарактеризуйте следующие виды поляризации: электронную, дипольную, ионную и спонтанную. Укажите классы веществ, для которых характерны эти виды поляризации.
7. Что такое время релаксации?
8. Дайте определение вектора поляризованности и покажите, в каких единицах он измеряется.
9. Как зависит вектор поляризованности от напряжённости электрического поля в диэлектрике?
10. Объясните механизм образования связанных зарядов на границе диэлектрика и поясните, как влияет электрическое поле связанных зарядов на напряжённость поля в диэлектрике.
11. Покажите, как связана поляризованность диэлектрика и поверхностная плотность связанных зарядов на его границе.
12. Относительная диэлектрическая проницаемость и восприимчивость, их взаимосвязь.
13. Как можно рассчитать величину связанного заряда на всей поверхности диэлектрике, зная величину вектора поляризованности. Получите формулу для величины заряда.
14. Определите относительную диэлектрическую проницаемость вещества. Установите связь между относительной диэлектрической проницаемостью и диэлектрической восприимчивостью вещества.
15. Дайте определение вектора электрического смещения и установите его связь с векторами напряжённости электрического поля и поляризованности.
16. Какие заряды называются сторонними. А какие связанными. Запишите формулу, устанавливающую связь вектора электрического смещения и поверхностной плотности сторонних зарядов.
17. Сформулируйте и докажите теорему Гаусса для вектора электрического смещения.

18. Что такое температурный коэффициент диэлектрической проницаемости TK_ϵ ? Как зависит относительная диэлектрическая проницаемость различных типов диэлектриков от температуры?

19. Как зависит относительная диэлектрическая проницаемость различных типов диэлектриков от напряжённости электрического поля?

Тема 3. Электропроводность диэлектриков. Величины удельной электрической проводимости γ и удельного электрического сопротивления ρ , характерные для ряда диэлектриков. Ток смещения, ток абсорбции, ток сквозной проводимости, ток утечки в диэлектрике. Зависимость тока утечки от времени. Расчёт удельного электрического сопротивления материала диэлектрика ρ по экспериментальным данным. Влияние температуры и влажности на ρ диэлектриков. Зависимость удельной электрической проводимости γ от величины заряда носителей тока, их концентрации и подвижности. Механизмы переноса заряда, характерные для диэлектриков. Зависимость удельного электрического сопротивления диэлектрика от температуры и влажности.

Вопросы для самоконтроля (тема 3).

1. Что такое электропроводность материала, какими физическими величинами оценивают уровень электропроводности?

2. Какие величины удельной электрической проводимости и удельного электрического сопротивления характерны для диэлектриков? Приведите примеры.

3. Что мы называем током утечки, током смещения абсорбционным током?

4. Как зависит ток утечки от времени, прошедшего с момента подачи напряжения на образец?

5. Как рассчитать сопротивление образца изоляции и величину его удельного электрического сопротивления на основе экспериментальных данных?

6. От каких физических величин зависит удельная электрическая проводимость материалов?

7. Как зависит удельное электрическое сопротивление образца диэлектрика от температуры и влажности?

8. Какие механизмы переноса заряда характерны для диэлектриков?

Тема 4. Диэлектрические потери. Диэлектрические потери и удельные диэлектрические потери. Векторные диаграммы токов и напряжений для разных элементов: проводника, конденсатора, индуктивности (идеальные случаи). Угол диэлектрических потерь. Активная мощность, рассеиваемая в диэлектрике, для последовательной и параллельной схем замещения. Связь тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ с мощностью, а также с удельной мощностью, рассеиваемой в диэлектрике. Методы измерения тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ и относительной диэлектрической проницаемости диэлектрика. Диэлектрические потери диэлектриков и области применения некоторых широко используемых диэлектриков.

Вопросы для самоконтроля (тема 4).

1. Что такое диэлектрические потери, удельные диэлектрические потери?
2. Как рассчитываются диэлектрические потери при постоянном напряжении?
3. Диэлектрические потери, наблюдаемые в изоляции, выше (или ниже) в переменном электрическом поле по сравнению с постоянным электрическим полем?
4. Какими факторами обусловлены диэлектрические потери в переменном электрическом поле?
5. Что такое угол диэлектрических потерь δ ?
6. Какой угол сдвига фаз φ между током и напряжением наблюдается при приложении переменного напряжения к идеальному конденсатору? Какова величина диэлектрических потерь в этом случае?
7. Как выбираются параметры схемы замещения (сопротивление и ёмкость) для расчёта диэлектрических потерь в реальном диэлектрике?
8. Покажите, почему $\tan \delta$ может характеризовать диэлектрические потери диэлектрика, работающего в переменном электрическом поле (установите связь между диэлектрическими потерями и $\tan \delta$).
9. Удельные диэлектрические потери для диэлектрика, работающего на переменном напряжении, фактор диэлектрических потерь.
10. Закон Джоуля-Ленца (в дифференциальной форме) и получение зависимости, устанавливающей взаимосвязь $\tan \delta$ диэлектрика с фактором диэлектрических потерь и удельной (активной) электрической проводимостью диэлектрика на переменном напряжении.
11. Анализ диэлектрических потерь в неполярных и полярных диэлектриках и объяснение зависимостей $\tan \delta$ этих диэлектриков от температуры и частоты приложенного электрического поля.

Тема 5. Пробой диэлектриков. Механизм возникновения пробоя. Определение пробоя. Электрическая прочность и единицы её измерения. Виды пробоя в диэлектриках: электрический, электротепловой, электрохимический, ионизационный пробой. Особенности пробоя газообразных диэлектриков на примере воздуха: влияние давления, неоднородности электрического поля и его частоты, расстояния между электродами. Особенности пробоя жидких диэлектриков. Механизм пробоя для очень чистых и технически чистых жидких диэлектриков. Влияние на величину электрической прочности степени очистки жидкого диэлектрика (на примере влияния влаги). Электротехнические характеристики некоторых жидких диэлектриков, используемых в электротехнике и электроэнергетике. Особенности пробоя твёрдых диэлектриков: механизм пробоя при разных условиях испытаний, зависимость электрической прочности от природы материала и условий испытаний, интервал изменения электрической прочности и её зависимость от температуры. Электротехнические характеристики некоторых твёрдых диэлектриков, используемых в электротехнике и электроэнергетике.

Вопросы для самоконтроля (тема 5).

1. Что такое пробой диэлектрика, как он возникает в диэлектрике?
2. Что такое электрическая прочность, в каких единицах она измеряется?
3. Охарактеризуйте электрический пробой в диэлектриках.
4. Охарактеризуйте электротепловой пробой в диэлектриках.
5. Охарактеризуйте электрохимический пробой в диэлектриках.
6. Охарактеризуйте ионизационный пробой в диэлектриках.
7. Поясните, почему важно изучать особенности пробоя воздуха. Назовите величину электрической прочности воздуха.
8. Охарактеризуйте особенности пробоя газообразных диэлектриков на примере воздуха: влияние давления, неоднородности электрического поля и его частоты, расстояния между электродами. Объясните характер зависимости электрической прочности воздуха от давления.
9. Приведите примеры жидких диэлектриков, укажите, где они используются. Сравните величины электрической прочности газов и жидкостей.
11. Укажите, какие примеси характерны для жидких диэлектриков. Назовите интервал значений электрической прочности, характерный для очень чистых и технически чистых жидкостей.
12. Укажите, какие механизмы используются для объяснения пробоя в очень чистых и технически чистых в жидких диэлектриках.
13. Объясните влияние влаги на развитие пробоя в жидком диэлектрике на примере трансформаторного масла.
14. Назовите приблизительные значения основных электротехнических характеристик жидких диэлектриков, используемых в электротехнике и электроэнергетике.
15. Назовите особенности пробоя твёрдых диэлектриков, укажите механизм пробоя при разных условиях испытаний.
16. Объясните зависимость электрической прочности твёрдого диэлектрика от природы материала и условий испытаний
17. Назовите интервал изменения электрической прочности твёрдых диэлектриков и её зависимость от температуры.
18. Назовите приблизительные значения основных электротехнических характеристик некоторых твёрдых диэлектриков, используемых в электротехнике и электроэнергетике.

Тема 6. Магнитные свойства электротехнических материалов. Количественное описание магнитных свойств вещества. Физические величины, используемые для описания магнитных свойств вещества: вектор намагниченности, магнитной индукции, напряжённости магнитного поля, магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость вещества. Взаимосвязь физических величин, относящихся к описанию магнитных свойств веществ. Диамагнитный эффект и диамагнетики. Парамагнетизм и парамагнетики. Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Отличительные особенности ферромагнетиков. Температура Кюри. Природа ферромагнетизма. Магнитные домены.

Кривая намагничивания ферромагнетика. Техническое насыщение. Магнитный гистерезис и петля гистерезиса. Предельный цикл: коэрцитивная сила и остаточная индукция. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Вопросы для самоконтроля (тема 6).

1. Какая физическая величина называется намагниченность, в каких единицах она измеряется?
2. Какими магнитные поля создают магнитное поле в веществе?
3. Как связана намагниченность с напряжённостью внешнего магнитного поля?
4. Что такое магнитная восприимчивость, в каких единицах она измеряется, как связана с магнитной проницаемостью вещества?
5. Какая взаимосвязь существует между векторами магнитной индукции в веществе \vec{B} , вектором намагниченности \vec{j} и напряжённостью магнитного поля \vec{H} ?
6. Как связаны вектора \vec{B} и \vec{H} ?
7. Объясните природу диамагнитного эффекта.
8. Какие вещества называются диамагнетиками? Какие значения магнитной восприимчивости характерны для них? Назовите некоторые диамагнитные вещества.
9. Какие вещества называются парамагнетиками? Что такое парамагнитный эффект? Какие значения магнитной восприимчивости характерны для парамагнетиков?
10. Назовите, чем обусловлены особенности магнитных свойств ферромагнетиков. Перечислите шесть отличительных черт ферромагнетиков.
11. Что такое домены? Какие размеры они имеют?
12. Как выглядит кривая намагничивания ферромагнетика? Укажите на кривой 4 характерные области и объясните, какие процессы происходят в ферромагнетике в каждой из областей.
13. Что такое техническое насыщение, магнитный гистерезис, петля гистерезиса, остаточная индукция, коэрцитивная сила?
14. Какие материалы называются магнитомягкими, магнитотвёрдыми? Где они используются?

1.6. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В. и др. Электротехнические материалы. Учебник для вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.: ил.

Указано последнее печатное издание, но можно использовать и более ранние выпуски этой книги.

2. Власов А.Б., Власова С.В. Электротехническое материаловедение: Учеб. пособие для курсантов (студентов) всех форм обучения. – Мурманск, изд-во МГТУ, 2001. – 226 с.

3. Власов А.Б., Власова С.В. Лабораторный практикум по электрофизическим методам исследования диэлектриков: учеб. пособие для технических специальностей. – 4-е изд., перераб. и доп. – Мурманск: изд-во МГТУ, 2013. – 184 с.

Дополнительная

4. Силенко В. Н. Электротехнические материалы и их применение на водном транспорте: Учеб. для вузов. - Спб.: Политехника, 1995. - 335 с.: ил.

5. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. - В 3 т. - Л.: Энергоатомиздат., 1988. - 1989.

6. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 320 с., ил.

1.6. ТЕМЫ И ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ» (ИЛИ «ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ») ДЛЯ СТУДЕНТОВ МГТУ ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ И СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

ТЕМЫ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

1. Общие сведения об электротехнических материалах.
2. Поляризация диэлектриков.
3. Электропроводность диэлектриков.
4. Диэлектрические потери.
5. Пробой диэлектриков.
6. Магнитные свойства электротехнических материалов.
7. Физико-химические свойства электротехнических материалов.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

1.1. -1.9. Какие важнейшие параметры характеризуют свойства проводниковых материалов и как они определяются? Выполните классификацию проводниковых материалов в зависимости от величины удельного сопротивления и применения. Чем отличаются проводники первого и второго рода?

1.1. Подробно опишите методы определения удельной электрической проводимости γ и удельного электрического сопротивления ρ . От каких факторов зависят значения этих параметров?

1.2. Подробно опишите методы определения температурного коэффициента удельного электрического сопротивления металлов $TK\rho$. От каких факторов зависит $TK\rho$?

1.3. Опишите механизм переноса теплоты в металлах. Укажите величины коэффициента теплопроводности, характерные для металлов. Подробно опишите методы определения теплопроводности металлов.

1.4. Подробно опишите процесс образования термоэлектродвижущей силы (термоэдс) при приведении в контакт разнородных металлов. Что такое

дифференциальная термоЭДС (или постоянная термопары)? Приведите примеры дифференциальной термоЭДС различных термопар. Укажите, где используются термопары.

1.5. Какие механические свойства металлов важны для их использования в электротехнике. Подробно опишите методы определения линейного расширения проводников.

1.6. Какие свойства алюминия и его сплавов определяют их широкое использование в электротехнике? Назовите области применения алюминия и его сплавов в электротехнической промышленности.

1.7. Какие свойства меди и её сплавов определяют их использование в электротехнике? Назовите области применения меди и её сплавов в электротехнической промышленности.

1.8. Какие свойства вольфрама и молибдена определяют их использование в электротехнике? Назовите области применения вольфрама и молибдена в электротехнической промышленности.

1.9. Какие свойства свинца, олова и цинка определяют их использование в электротехнике? Назовите области применения этих металлов в электротехнической промышленности.

1.10. - 1.15. Опишите свойства сплавов высокого сопротивления. Какие особенности этих сплавов определяют их использование в электротехнике? Сравните свойства и использование:

1.10. Манганина и константана.

1.11. Манганина и сплавов типа нихрома.

1.12. Хромалюминиевых сплавов.

1.13. Термопар различного типа.

1.14. Тензометрических сплавов.

1.15. Опишите требования, предъявляемые к материалам контактов современных электрических аппаратов. Назовите основные материалы, используемые в качестве контактов, охарактеризуйте их свойства и области применения.

1.16. Опишите требования, предъявляемые к припоям и флюсам. Назовите основные припои и флюсы, используемые для различных целей в электротехнике и электронике.

1.17. - 1.20. Опишите особенности использования электроугольных изделий и неметаллических проводников в электротехнике.

1.17. Сравните свойства и области использования угольных и графитовых электродов.

1.18. Охарактеризуйте изменение свойств угольных электродов от температуры.

1.19. Сравните свойства и особенности использования графита и пиролитического углерода.

1.20. Опишите свойства материалов высокой нагревостойкости и укажите области их применения в электротехнике.

2. ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ.

2.1. - 2.5. Опишите процесс поляризации диэлектрика. Дайте определение относительной диэлектрической проницаемости, времени релаксации.

Дайте определение вектора поляризуемости \vec{P} и назовите единицы измерения величины вектора поляризуемости. Как вектор поляризуемости \vec{P} зависит от напряжённости электрического поля в данной области пространства? Что такое диэлектрическая восприимчивость вещества и как она связана с относительной диэлектрической проницаемостью вещества? Как связаны вектор электрического смещения \vec{D} , напряжённость электрического поля \vec{E} и вектор поляризуемости \vec{P} ?

Подробно опишите следующие виды поляризации, назовите примерные диапазоны значений диэлектрической проницаемости для типичных представителей.

2.1. Электронная поляризация.

2.2. Ионная поляризация.

2.3. Дипольно-релаксационная поляризация.

2.4. Спонтанная поляризация.

2.5. Миграционная поляризация.

2.6. - 2. 10. Какие виды поляризации характерны для газов? Дайте определение температурного коэффициента относительной диэлектрической проницаемости $TK\epsilon$? Почему относительная диэлектрическая проницаемость зависит от влажности воздуха? Как зависит относительная диэлектрическая проницаемость неполярного газа от давления? Почему это происходит? Как связаны относительная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления газов?

2.6. Определите $TK\epsilon$ углекислого газа при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 4 Мпа.

2.7. Определите $TK\epsilon$ воздуха при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 2 Мпа.

2.8. Определите $TK\epsilon$ азота при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 1 Мпа.

2.9. Определите $TK\epsilon$ воздуха при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 0,1 Мпа.

2.10. Определите $TK\epsilon$ азота при температуре $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 0,1 Мпа.

2.11. Какие виды поляризации наблюдаются в жидкостях? Изобразите на графике и объясните зависимость относительной диэлектрической проницаемости от температуры и времени $\epsilon(T)$ и $\epsilon(t)$ для неполярной жидкости. Изобразите на графике и объясните аналогичные зависимости для полярной жидкости.

2.12-2.13. Опишите процессы поляризации твёрдых диэлектриков. Может ли быть у этих веществ значение температурного коэффициента относительной диэлектрической проницаемости $TK\epsilon$ отрицательным, положительным, равным нулю? Нарисуйте зависимость $\epsilon(T)$ для неполярного и полярного твёрдого диэлектрика на одном графике. Объясните, почему зависимости ϵ от температуры носят такой характер. Нарисуйте и объясните зависимость $\epsilon(t)$ для неполярного и полярного твёрдого диэлектрика на одном графике. Объясните, почему зависимости ϵ от времени носят такой характер.

2.12. Определите отношение емкостей плоского конденсатора, имеющего в качестве диэлектрика электротехнический фарфор, при увеличении температуры от 0 до 300⁰С. Изменением размеров образца пренебречь. Опишите свойства и получение электротехнического фарфора.

2.13. Какие диэлектрики называются сегнетоэлектриками? Изобразите на графике и объясните зависимость $\epsilon(T)$ для титаната бария. Определите значение диэлектрической проницаемости при температуре 20⁰С и температуре Кюри. Опишите свойства титаната бария. Где применяется данный материал?

Изобразите на графике зависимость величины вектора поляризованности сегнетоэлектрика от величины приложенного к диэлектрику электрического поля. Объясните характер зависимости.

2.14. - 2.19. Опишите основные свойства и назовите области применения пиро-, пьезо-, сегнетоэлектриков.

2.14. Опишите основные области применения прямого и обратного пьезоэффекта. Какие материалы для этого используются?

2.15. Опишите основные характеристики пара- и сегнетоэлектрического состояния. В каком состоянии находится материал при температурах ниже температуры Кюри? Выше температуры Кюри? Какие материалы с сегнетоэлектрическими свойствами применяются в электротехнической промышленности?

2.16. Опишите свойства пироэлектриков, материалы и приборы, в которых они используются, в частности применение пироэлектриков в пириконах, тепловизорах, пирометрах.

2.17. Опишите эффект, используемый в кварцевых резонаторах частоты.

2.18. Опишите эффект электрострикции. В чём его отличие от пьезоэффекта?

2.19. Что такое электретный эффект? В каких приборах он используется?

2.20. Опишите не менее двух методов определения диэлектрической проницаемости вещества.

3. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКОВ

3.1. - 3.12. Что такое токи абсорбции? Какими процессами они обусловлены?

Приведите электрическую схему измерения объёмной и поверхностной проводимости диэлектрика (на схеме должно быть указано расположение электродов на исследуемых образцах). Опишите методы измерения, приведите рисунки и расчётные формулы для вычисления сопротивления R , удельного объёмного электрического сопротивления ρ_v , удельной электрической проводимости γ различных образцов: плоский (с круглыми электродами), плоский с прямоугольными электродами; трубчатый и цилиндрический.

В табл.1 приведены экспериментальные данные силы тока, протекающего через различные диэлектрики, в зависимости от времени, прошедшего с момента подачи напряжения на образец, ρ_v, γ для образцов из различных материалов,

согласно варианту. Опишите свойства материала, из которого изготовлен образец.

3.1. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину R для образца №1.

3.2. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину ρ_v и γ для образца №1.

3.3. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину R для образца №2.

3.4. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину ρ_v и γ для образца №2.

3.5. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину R для образца №3.

3.6. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину ρ_v и γ для образца №3.

3.7. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину R для образца №4.

3.8. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину ρ_v и γ для образца №4.

3.9. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину R для образца №5.

3.10. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину ρ_v и γ для образца №5.

Таблица 1.

Величина силы тока, протекающего через образец, как функция времени, прошедшего с момента подачи постоянного напряжения, нА

№	Материал: Толщина, мм	Время, с										
		10	20	30	45	60	90	120	180	240	300	600
1	Гетинакс: 1,02	0,60	0,44	0,37	0,33	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
2	Полиуретан: 1,59	1,57	1,45	1,40	1,35	1,31	1,26	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18
3	Полиуретан: 1,53	1,48	1,20	1,03	0,88	0,84	0,80	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
4	Бумага конденсаторная: 0,03	3,29	2,82	2,54	2,26	2,16	1,99	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
5	Поливинилхлорид: 0,88	1,54	1,18	1,11	1,07	1,06	1,05	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
6	Поливинилхлорид: 0,77	0,28	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

Примечания:

1. Диаметры плоских электродов (в трёхэлектродной схеме измерения) равны 4 и 5 см.

2. Температура 20 °С.

3. Напряжение 150 В.

4. 1 нА = 10⁻⁹ А.

3.11. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину R для образца №6.

3.12. Постройте зависимость силы тока от времени $I(t)$ и определите величину ρ_v , и γ для образца №6.

3.13. Опишите основные механизмы электропроводности газов. Чем обусловлены несамостоятельная и самостоятельная электропроводность газа? Как зависит ток I в газе от напряжения U ? Изобразите на графике зависимость $I(U)$ и объясните её.

3.14. Опишите основные механизмы электропроводности полярных и неполярных жидкостей. Что такое «электрическая очистка»? Опишите качественно и количественно зависимость проводимости жидких диэлектриков от температуры.

3.15. - 3.20. Опишите механизмы электропроводности твёрдых диэлектриков. Дайте определение энергии активации проводимости. Укажите, из какой экспериментальной зависимости и как она определяется.

Опишите качественно и количественно зависимость удельной электрической проводимости γ от температуры. Разъясните, как экспериментально определяется температурный коэффициент удельного электрического сопротивления $TK\rho$.

В учебнике [1] на рис. 2.6. и 2.7. приведены экспериментальные зависимости. Определите по этим зависимостям значение энергии активации в Дж и эВ (согласно варианту):

3.15. Плавленого кварца.

3.16. Кристаллического кварца (в направлении, параллельном главной оптической оси).

3.17. Радиофарфора.

3.18. Фарфора.

По этим же зависимостям определите температурный коэффициент удельного электрического сопротивления $TK\rho$ (согласно варианту) для:

3.19. Плавленого кварца.

3.20. Радиофарфора.

4. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ

4.1. - 4.2. Что такое диэлектрические потери и удельные диэлектрические потери? Нарисуйте векторные диаграммы токов и напряжений для разных элементов: проводника, конденсатора, индуктивности (идеальные случаи).

Что такое угол диэлектрических потерь? Как определяется активная мощность P_a , рассеиваемая в диэлектрике, для последовательной и параллельной схем замещения? Нарисуйте эти схемы. Чем обусловлен выбор той или иной схемы? Зависит ли рассчитываемая активная мощность от выбора схемы замещения? Зависит ли рассчитываемая ёмкость от схемы замещения?

Каким соотношением связан тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ с мощностью, рассеиваемой в диэлектрике? Каким соотношением $tg\delta$ связан с удельной мощностью, рассеиваемой в диэлектрике?

В учебнике [1] (табл. 3.1.) приведены значения $tg\delta$ и ϵ для диэлектриков с большими потерями. Определите активную мощность, рассеиваемую в диэлектрике, для образца, имеющего ёмкость 1000 пФ на промышленной частоте и напряжении 100 В (согласно варианту).

4.1. Фенопласт. Также опишите строение материала, рассмотрите его свойства, назовите марки и область применения.

4.2. Кабельная бумага. Также опишите строение материала, рассмотрите его свойства, назовите марки и область применения.

4.3-4.6. Опишите методы измерения относительной диэлектрической проницаемости вещества ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$. Нарисуйте векторные диаграммы токов и напряжений. Как рассчитывается величина удельных диэлектрических потерь?

4.3. Определите ёмкость между противоположными гранями куба из увлажнённого фенопласта со стороной 1 м, реактивную и активную составляющие удельной электрической проводимости, удельные диэлектрические потери для напряжённости электрического поля, приложенного к образцу, $E = 10^6$ В/м. Также опишите строение материала, рассмотрите его свойства, назовите марки и область применения.

4.4. Определите ёмкость между противоположными гранями куба из увлажнённой кабельной бумаги со стороной 1 м, реактивную и активную составляющие удельной проводимости, удельные диэлектрические потери для напряжённости электрического поля, приложенного к образцу $E = 10^6$ В/м. Также опишите строение материала, рассмотрите его свойства, назовите марки и область применения.

4.5. Потери в диэлектрике ёмкостью $C = 1000$ нФ (сопротивление образца 10^5 Ом, частота 1000 Гц) обусловлены потерями сквозной проводимости. Определите $tg\delta$ и активную мощность P_a , рассеиваемую в образце, при напряжении 100 В.

4.6. Потери в диэлектрике ёмкостью $C = 1000$ нФ (сопротивление образца 10^5 Ом, частота 1000 Гц) обусловлены сопротивлением подводящих проводов и самих электродов. Определите величину активной мощности P_a , рассеиваемой в образце, при напряжении 100 В.

4.7-4.10. Опишите механизмы и виды диэлектрических потерь в электроизоляционных материалах за счёт процессов поляризации, сквозной проводимости, ионизации, неоднородности структуры. Опишите зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ от температуры и частоты (согласно варианту):

4.7. В газах. Приведите примеры материалов и примерные значения $tg\delta$.

4.8. В жидких диэлектриках. Приведите примеры материалов и примерные значения $tg\delta$.

4.9. В неполярных твёрдых диэлектриках. Приведите примеры материалов и примерные значения $tg\delta$.

4.10. В полярных твёрдых диэлектриках. Приведите примеры материалов и примерные значения $tg\delta$.

4.11. Что такое диэлектрические потери и удельные диэлектрические потери? Каким соотношением связан тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ с мощностью, рассеиваемой в диэлектрике? Каким соотношением $tg\delta$ связан с удельной мощностью, рассеиваемой в диэлектрике?

Опишите влияние различных факторов, в том числе влажности, на величину $tg\delta$ различных материалов.

4.12. Что такое диэлектрические потери и удельные диэлектрические потери? Каким соотношением связан тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ с мощностью, рассеиваемой в диэлектрике? Каким соотношением $tg\delta$ связан с удельной мощностью, рассеиваемой в диэлектрике?

Опишите влияние различных факторов, в том числе высокого напряжения и частичных разрядов на величину $tg\delta$ (кривая ионизации).

4.13. Что такое диэлектрические потери и удельные диэлектрические потери? Каким соотношением связан тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ с мощностью, рассеиваемой в диэлектрике? Каким соотношением $tg\delta$ связан с удельной мощностью, рассеиваемой в диэлектрике?

Что такое композиционные диэлектрики и как рассчитываются диэлектрические потери механической смеси, параллельного и последовательно включённых слоёв, хаотического распределения?

4.14. - 4.16. Что такое диэлектрические потери и удельные диэлектрические потери? Каким соотношением связан тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ с мощностью, рассеиваемой в диэлектрике? Каким соотношением $tg\delta$ связан с удельной мощностью, рассеиваемой в диэлектрике?

Какими значениями ϵ и $tg\delta$ должны обладать диэлектрики, работающие в изделиях на высоких частотах, так называемые высокочастотные диэлектрики? Опишите свойства материалов, применяемых на высоких частотах:

4.14. В конденсаторах.

4.15. В катушках индуктивности.

4.16. В резисторах.

4.17. Испытания высоковольтных вводов трансформаторов, имеющих в качестве диэлектрика слоистую бумажно-масляную изоляцию, проводится под напряжением 3 кВ (частота 50 Гц). Измеренное значение $tg\delta=3\cdot 10^{-3}$. Рабочее напряжение подобных вводов 330 кВ. На заводе-изготовителе запланировано приращение значений $tg\delta$ на 0,25% при возрастании напряжения на каждые 50 кВ.

1. Опишите материал изоляции и укажите, какой вид поляризации характерен для этого материала.

2. Вследствие каких причин возрастает значение $tg\delta$ при работе под рабочим напряжением?

3. Какое значение $tg\delta$ имеет изоляция под рабочим напряжением?

4.18. При измерении параметров керамического конденсатора на частоте 1кГц получены значения ёмкости $C = 100$ пФ и тангенса угла диэлектрических

потерь $tg\delta = 8 \cdot 10^{-3}$. Определите эквивалентное последовательное R_s и параллельное R_p сопротивления на этой частоте.

4.19. В кабеле с изоляцией из полиэтилена (ПЭ) при напряжении 20 В и частоте 1 МГц активная мощность рассеяния равна 200 мкВт. Чему равна активная мощность рассеяния в этом же кабеле при напряжении 10 В и частоте 2 МГц?

4.20. Рассчитайте активную мощность потерь при постоянном напряжении 100 В для конденсатора на основе плёнки полиэтилентерефталата ёмкостью 1 мкФ. Постоянная времени для этого конденсатора равна 104 с. Какой ток будет протекать через этот конденсатор. Если его включить в электрическую сеть с напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Опишите свойства используемого в конденсаторе диэлектрика.

5. ПРОБОЙ ДИЭЛЕКТРИКОВ.

5.1. - 5.4. Что такое электрический пробой диэлектрика? Дайте определение, подходящее для диэлектрика в любом агрегатном состоянии (газообразном, жидком, твёрдом). Что такое электрическая прочность материала? В чём она измеряется? Как влияет неоднородность электрического поля на электрическую прочность диэлектрика.

Опишите качественно и количественно пробой газов. Что такое стриммеры, фотоэлектроны, катодное пятно, дуга, искра?

5.1. Изобразите на графике и объясните зависимость электрической прочности воздуха $E_{пр}$ от расстояния между электродами. Рассчитайте значение напряжения пробоя воздуха при частоте $f = 50$ Гц, температуре $T = 40$ °С, давлении $p = 0,3$ Мпа и толщине слоя $h = 0,05$ см.

5.2. Изобразите на графике и объясните зависимость электрической прочности воздуха $E_{пр}$ от давления. Рассчитайте значение напряжения пробоя воздуха для частоты $f = 50$ Гц, температуры $T = 25$ °С, давления $p = 0,5$ Мпа и толщине слоя $h = 1,0$ см.

5.3. Почему напряжения пробоя воздуха в неоднородном поле зависит от полярности? Приведите и объясните зависимость напряжения пробоя воздуха от расстояния. Во сколько раз напряжение пробоя воздуха изменяется при замене напряжения (для толщины слоя $h = 6,0$ см)?

5.4. Почему напряжение пробоя воздуха в неоднородном поле зависит от частоты? Приведите и объясните зависимость напряжения пробоя воздуха от частоты. Во сколько раз напряжение пробоя воздуха изменяется при увеличении частоты от 50 до $3,85 \cdot 10^5$ Гц (толщина слоя $h = 6,0$ см)?

5.5. - 5.8. Почему электрическая прочность жидкостей больше, чем электрическая прочность газов? Как происходит пробой жидкостей, содержащих газовые включения? Почему вода влияет на электрическую прочность масла? Опишите свойства и назовите область применения материала.

5.5. Содержание воды в масле возросло от 0,01 до 0,05%. Во сколько раз изменится напряжение пробоя масляного промежутка?

5.6. При температурах $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ электрическая прочность масла имеет одинаковые значения. Почему это происходит?

5.7. Почему зависимости электрической прочности $E_{\text{пр}}$ от температуры для подсушенного масла и масла, содержащего следы воды, отличаются? Приведите эти зависимости и объясните их.

5.8. Приведите и объясните зависимость электрической прочности подсушенного масла от температуры при частоте 50 Гц. Как изменится электрическая прочность при возрастании частоты электрического поля? Почему это происходит?

5.9. - 5.13. Опишите четыре вида пробоя твёрдых диэлектриков.

5.9. Зависит ли электрическая прочность от температуры при электрическом пробое твёрдых диэлектриков? Почему? Объясните процесс образования электронной лавины. Как и почему влияет на процесс пробоя неоднородность электрического поля? Во сколько раз изменится напряжение пробоя для технического стекла толщиной 0,3 мм при переходе от однородного поля к резко неоднородному? Опишите свойства и назовите области применения материала.

5.10. Почему электрическая прочность при электрическом пробое неоднородных диэлектриков зависит от толщины? Какова роль газовых включений? Сравните значения электрической прочности $E_{\text{пр}}$ электротехнического фарфора при толщине 0,5 мм и 2,5 мм на частоте 50 Гц в однородном поле. Опишите свойства и назовите области применения материала.

5.11. Почему электрическая прочность неоднородных диэлектриков зависит от площади электродов?

5.12. При каком виде пробоя и почему электрическая прочность диэлектриков зависит от температуры? Приведите и объясните зависимость электрической прочности $E_{\text{пр}}$ для электротехнического фарфора на частоте 50 Гц. Чему равно напряжение пробоя образца толщиной 1,0 мм при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$? Опишите свойства и назовите области применения материала.

5.13. Опишите свойства диэлектриков с открытыми порами. Сравните электрическую прочность воздуха, непропитанной бумаги, дерева и пористой керамики. Какие материалы имеют более высокую электрическую прочность? Опишите свойства и назовите области применения материалов.

5.14. - 5.17. Опишите явление электротеплового (теплового) пробоя твёрдых диэлектриков. Зависит ли электрическая прочность $E_{\text{пр}}$ от частоты, размеров диэлектрика, формы электродов при тепловом пробое? Как влияет температура на электрическую прочность?

5.14. Опишите методику упрощённого расчёта пробивного напряжения при тепловом пробое. Какова роль коэффициента теплопроводности?

5.15. Получите выражение для пробивного напряжения при электротепловом пробое по упрощённой теории Семёнова-Фока.

5.16. Опишите методику упрощённого расчёта значения напряжения пробоя при электротепловом пробое. Какова роль диэлектрических потерь? Температуры?

5.17. Опишите методику упрощённого расчёта значения напряжения пробоя при электротепловом пробое. Как и почему влияет частота электрического поля на напряжение пробоя?

5.18. Опишите влияние электрохимического пробоя (электрического старения) диэлектриков. Почему на данный процесс оказывает влияние электропроводность? Опишите материалы, для которых характерен данный вид пробоя.

5.19. Образец диэлектрика состоит из двух слоёв (резина и конденсаторная бумага) равной толщины 100 мкм. Напряжение, приложенное к диэлектрику, равно 3 кВ, частота 50 Гц. Какой из материалов раньше пробьётся? Сделайте расчёт значений напряжённостей электрического поля в каждом слое. Электропроводностью пренебречь. Опишите свойства и области применения каждого из материалов (табл. 2).

Таблица 2

Электрические свойства отдельных диэлектриков

Материал	Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ	Электрическая прочность, МВ/м	Удельное электрическое сопротивление ρ , Ом·м
Резина	4,0	35,0	10^{13}
Бумага непропитанная	2,0	6,0	10^{10}
Бумага конденсаторная	3,5	200	10^{11}
Полиэтилен	2,2	150	10^{14}
Фторопласт Ф-4	2,0	200	10^{16}
Текстолит	7,0	14,0	10^8
Фарфор	6,0	25,0	10^{12}
Янтарь	2,8	-	10^{17}
Гетинакс	2,8	25,0	10^{11}
Поливинилхлорид	4,0	200	10^{13}
Слюда	7,0	100	10^{13}
Стекло	6,5	50	10^{15}
Лавсан	3,6	100	10^{15}

5.20. Образец диэлектрика состоит из двух слоёв: бумага конденсаторная (10 мкм) и фторопласт Ф-4 (20 мкм). Частота 50 Гц. При возрастании напряжения на образце один из слоёв пробьётся первым. Какой именно? При каком напряжении на образце? После пробоя данного слоя пробьётся ли второй слой? Выполните расчёт значений напряжённостей электрического поля в каждом слое. Электропроводностью пренебречь. Опишите свойства и области применения каждого из материалов (табл. 2).

6. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

6.1. - 6.5. Дайте определение физических величин, относящихся к описанию магнитного поля в веществе: векторов магнитной индукции, намагниченности, напряжённости магнитного поля; вектора магнитного момента; магнит-

ной проницаемости и магнитной восприимчивости вещества. Покажите взаимосвязь всех вышеперечисленных величин, относящихся к описанию магнитных свойств веществ.

Охарактеризуйте основные виды магнитного состояния вещества: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Приведите примеры этих материалов.

6.1. Что такое диамагнитный эффект? Объясните природу диамагнитного эффекта. Что такое ларморова прецессия? Какие виды магнетиков обладают диамагнитным эффектом? Какие вещества называют диамагнетиками? Приведите примеры диамагнетиков.

6.2. Что такое парамагнетизм? Объясните природу парамагнетизма. Какие вещества называют парамагнетиками? Приведите примеры парамагнетиков.

6.3. Что такое ферромагнетизм, магнитные домены, спонтанная намагниченность? Изобразите на графике основную кривую намагничивания ферромагнетика (зависимость величины магнитной индукции от напряжённости магнитного поля) и объясните, чем обусловлен характерный вид кривой намагничивания. Что такое остаточная магнитная индукция, коэрцитивная сила, гистерезис? Изобразите на графике петлю гистерезиса. Какие вещества называют ферромагнетиками? Приведите примеры ферромагнетиков.

6.4. В чём суть и проявление эффекта магнитоstriction? Опишите процесс намагничивания материала и изменения границ доменов.

6.5. Опишите и объясните зависимость магнитной проницаемости ферромагнитных материалов от температуры. В чём суть закона Кюри-Вейса? Что такое температура Кюри? Приведите значение температуры Кюри для различных материалов.

6.6. - 6.8. Опишите петлю гистерезиса при различных максимальных значениях напряжённости магнитного поля. Что такое предельный цикл? Какие вещества называются магнитотвёрдыми и магнитомягкими? Чему равны значение остаточной индукции и коэрцитивной силы для магнитомягких и магнитотвёрдых материалов? Приведите примеры этих материалов. Где используются те и другие? Что такое «потери на гистерезис» и как они определяются?

6.6. Как влияют на магнитные характеристики механические напряжения в материале. Приведите примеры.

6.7. Как влияет на параметры петли гистерезиса тепловая обработка материала? Приведите примеры.

6.8. Опишите причину влияния толщины листа трансформаторной стали на значение коэрцитивной силы.

6.9. - 6.14. Опишите свойства, назовите основные характеристики, области применения, марки магнитомягких материалов: железа, низкоуглеродистой стали, чистого железа, карбонильного железа, кремнистой электротехнической стали, ферритов, пермаллоев. По данным учебника [1, табл. 9.1. - 9.3.] нарисуйте и объясните зависимости:

6.9. Максимальной магнитной проницаемости и коэрцитивной силы железа от содержания кислорода.

6.10. Плотности и удельного электрического сопротивления электротехнической стали от содержания кремния.

6.11. Магнитной индукции от напряжённости магнитного поля $B(H)$ для марки стали 2013. Рассчитайте, изобразите и объясните зависимость магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля $\mu(H)$. Опишите свойства материала. Назовите области применения.

6.12. Магнитной индукции от напряжённости магнитного поля $B(H)$ для марки стали 2112. Рассчитайте, изобразите и объясните зависимость магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля $\mu(H)$. Опишите свойства материала. Назовите области применения.

6.13. Магнитной индукции от напряжённости магнитного поля $B(H)$ для марки стали 2212. Рассчитайте, изобразите и объясните зависимость магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля $\mu(H)$. Опишите свойства материала. Назовите области применения.

6.14. Магнитной индукции от напряжённости магнитного поля $B(H)$ для марки стали 2314. Рассчитайте, изобразите и объясните зависимость магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля $\mu(H)$. Опишите свойства материала. Назовите области применения.

6.15. - 6.17. Опишите состав, назовите марки, свойства, области применения пермаллоев. Сравните их свойства со свойствами других магнитных материалов: железа, альсифера.

6.15. Опишите влияние легирующих добавок на свойства пермаллоев.

6.16. Расшифруйте и сравните свойства материалов марок 45Н, 50НХС, 80НХС.

6.17. Расшифруйте и сравните свойства материалов марок 50Н, 50НХС, 76НХД.

6.18. - 6.19. Опишите марки, строение и состав магнитомягких ферритов. Проанализируйте влияние количества окиси никеля, железа, цинка на величину магнитной проницаемости.

6.18. Опишите и объясните влияние температуры на магнитную проницаемость ферритов различных марок.

6.19. Опишите и объясните схему использования магнитомягких ферритов на различных частотах. Что такое граничная частота?

6.20. Опишите свойства магнитотвёрдых материалов по составу, состоянию и способу получения. Какие значения коэрцитивной силы, остаточной индукции, магнитной проницаемости характерны для магнитотвёрдых материалов?

Опишите характеристики материалов для постоянных магнитов. Опишите и объясните кривые размагничивания и магнитной энергии, заключённой в воздушном зазоре, для магнитного материала.

7. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

7.1. Опишите методы определения влажности твёрдых диэлектриков. Как определяется влагопроницаемость? В каких единицах она измеряется? Опишите и сравните влагопроницаемость бумаги, резины, полиэтилена, фторопласта, текстолита.

7.2. Опишите методы испытаний на нагревостойкость. Опишите и сравните нагревостойкость бумаги, резины, полиэтилена, фторопласта, текстолита.

7.3-7.7. Что такое процесс теплового старения? Какие методы используются для его предупреждения? Кратко опишите теорию Аррениуса. На рис. 1 и 2 приведены зависимости срока службы изделий с различной изоляцией от температуры. Опишите процессы, происходящие в материалах при тепловом старении.

7.3. Определите срок службы при 60°C . Во сколько раз уменьшится срок службы изоляции при возрастании температуры до 80°C (рис.1)? Опишите свойства и области применения данной изоляции.

7.4. Кабель с резиновой изоляцией эксплуатируется при 40°C . Чему равен вероятный срок службы (рис. 1)? Опишите свойства и применение данной изоляции.

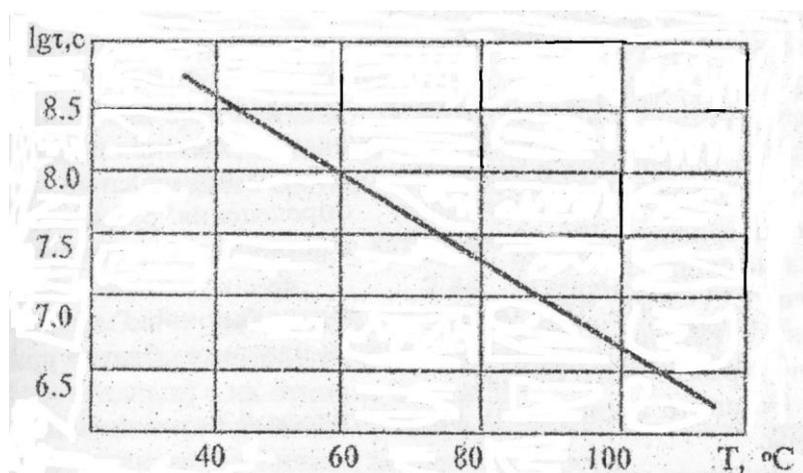


Рис.7.1. Примерная зависимость срока службы кабелей с резиновой изоляцией до появления трещин от температуры.

7.5. Во сколько раз отличаются сроки службы полиимидного и масляно-битумного лаков при 180°C (рис.2)? Опишите свойства и применение данной изоляции.

7.6. Во сколько раз отличаются сроки службы кремнийорганического и полиимидного лаков при 280°C (рис.2)? Опишите свойства и назовите области применения данной изоляции.

7.7. Какие добавки в резиновой изоляции препятствуют протеканию теплового старения?

7.8. Опишите методику определения холодостойкости материалов. Приведите значения параметра холодостойкости различных материалов и назовите области их применения.

7.9. Опишите методику определения коэффициента теплопроводности материалов. Приведите значение параметра теплопроводности различных материалов и назовите области их применения.

7.10. Опишите методику определения коэффициента теплового расширения материалов. Приведите значения параметра для различных материалов и назовите области их применения.

7.11. Опишите методику определения радиационной стойкости материалов. Как проявляется действие ионизирующих излучений на материалы?

7.12-7.17. Что такое электроизоляционные масла? Как их получают? Опишите свойства, марки и назовите области применения трансформаторного масла.

7.12. Опишите зависимость кинематической вязкости τ масла от температуры.

7.13. Опишите зависимость электрической прочности масла от увлажнения и загрязнения.

7.14. Опишите зависимость тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости масла от температуры.

7.15. Опишите процессы, сопровождающие старение масла в процессе эксплуатации. Что такое процесс регенерации масла?

7.16. Сравните свойства и применение трансформаторного, конденсаторного, кабельного масел.

7.17. Опишите марки, назовите области применения и сравните свойства кабельной и конденсаторной бумаги.

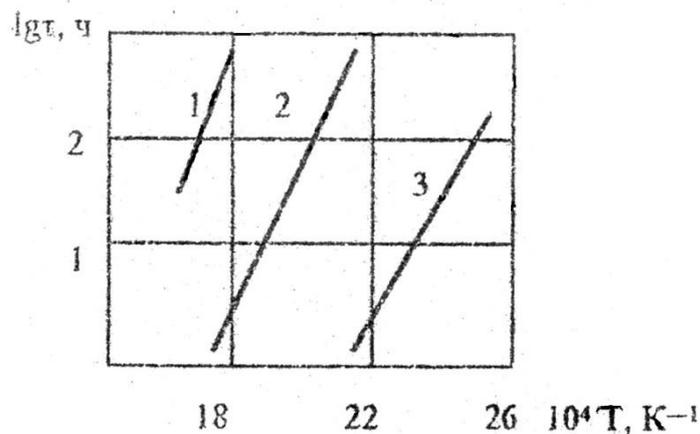


Рис. 7.2. Зависимость срока службы лаковых плёнок на поверхности проводов до появления трещин от температуры: 1 – полиимидная; 2 – кремнийорганическая; 3 – масляно-битумная.

7.18. Что такое лакоткани? Опишите получение, свойства, назовите марки, области применения и особенности эксплуатации лакотканей различных типов.

7.19. Опишите получение, свойства, марки, применение, особенности эксплуатации гетинакса и текстолита.

7.20. Опишите получение, свойства, назовите марки, области применения, особенности эксплуатации керамических материалов: радиофарфора, керамики, сегнетокерамики.

3. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

3.1. Оформление титульного листа контрольной работы

МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей и прикладной физики

Контрольное задание по курсу
«Дополнительные главы физики»
(или «Дополнительные разделы физики»)

Выполнил: студент(ка) 1-го курса ЗО,
группы ЗЭл1, шифр № _____

Ф.И.О. _____

Дата: _____

Проверил: профессор каф. ОиПФ
ВЛАСОВА С. В.

Дата: _____

Мурманск-2019

3.2. Оформление внутренней стороны листа обложки**Вариант 10**

№ задания	Замечания (первая проверка)	Замечания (вторая проверка)
1.10		
2.10		
3.10		
4.10		
5.10		
6.10		
7.10		

Литература

- 1. Богородицкий Н. П. Пасынков В. В. Тареев Б. М.** Электротехнические материалы. «Энергоатомиздат», разные годы издания.
- 2. Власов А.Б., Власова С.В.** Электротехническое материаловедение: Учеб. пособие для курсантов (студентов) всех форм обучения. – Мурманск, изд-во МГТУ, 2001. – 226 с.
- 3. Власов А.Б., Власова С.В.** Лабораторный практикум по электрофизическим методам исследования диэлектриков: учеб. пособие для технических специальностей. – 4-е изд., перераб. и доп. – Мурманск: изд-во МГТУ, 2013. – 184 с.
- 4. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева.** - В 3 т. - Л.: Энергоатомиздат., 1988. - 1989.