

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Степанов Федор Михайлович
Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ
Дата подписания: 25.02.2026 09:04:03
Уникальный программный ключ:
8c65c591e26b2d8e460927740cf7196323a3b395

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Новоуральский технологический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

УТВЕРЖДЕНА
Ученым советом НТИ НИЯУ МИФИ
Протокол №1 от 03.02.2025 г.

Рабочая программа учебной дисциплины
" Электрические и электронные аппараты "

Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль – "Электропривод и автоматика"
Квалификация (степень)
выпускника – бакалавр
Форма обучения – Очно-заочная

г.Новоуральск, 2025

Семестр	8
Трудоемкость, ЗЕТ	4
Трудоемкость, ч.	144
Аудиторные занятия, в т.ч.:	52
- лекции	18
- практические занятия	18
- лабораторные работы	16
- курсовой проект (работа)	-
Самостоятельная работа	92
Пр. пр. подг. от.	4
Форма итогового контроля	Зачет с оценкой

Программу составил к.т.н. доцент, преподаватель кафедры ПЭ Шабанов В.А.,

Программа актуализирована в рамках образовательного модуля ООП в соответствии с введением профессиональной компетенции ПК-4 старшим преподавателем кафедры ПЭ Тунёвой А.А.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	Ошибка! Закладка не определена.
2 МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО	4
3 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ	5
4 ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ	5
5 ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КУРСА.....	5
6 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ...	Ошибка! Закладка не определена.
7 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	Ошибка! Закладка не определена.
8 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ	Ошибка! Закладка не определена.
8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	24
9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	Ошибка! Закладка не определена.

1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа составлена в соответствии с Образовательным стандартом высшего образования Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», (квалификация (степень) бакалавр), утвержденный **ученым советом** университета и **рабочим учебным планом (РУП)** по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль "Электропривод и автоматика".

Основной целью курса является ознакомление студентов с конструкцией, работой и методами диагностики электрических и электронных аппаратов, используемых в промышленности.

Специальные знания и навыки, полученные при изучении курса «Электрические и электронные аппараты» необходимы для использования в будущей профессиональной деятельности.

Таблица 1

Область профессиональной деятельности (по Реестру Минтруда)	Тип задачи профессиональной деятельности (Профиль)	Задача профессиональной деятельности	Объект профессиональной деятельности (или область знания)
24.033 Атомная промышленность	монтажно-наладочный	обеспечение эксплуатации, технического обслуживания и ремонта оборудования контрольно-измерительных приборов и автоматики в организациях атомной энергетики	оборудование контрольно-измерительных приборов и автоматики

В соответствии с учебным планом специальности в обязательный минимум содержания образовательной программы подготовки должны входить лекции практические и лабораторные занятия. Заканчивается курс «Электрические и электронные аппараты» сдачей зачёта.

2 МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

В соответствии с кредитно-модульной системой подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» учебная дисциплина «Теоретические основы электротехники» входит в базовую часть основного раздела общепрофессионального модуля.

Изучение данной дисциплины базируется на сумме знаний и практических навыков, полученных студентами на предметах: «Физика», «Электрические измерения», «Физические основы электроники», «Полупроводниковые приборы», «Теоретические основы электротехники», «Электротехнические материалы».

3 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 2

Формируемые компетенции	Планируемые результаты	
ПК-4 Способен соблюдать и оценивать параметры пусковых режимов оборудования с обеспечением современного и безопасного включения его в работу	знание	З-ПК-4. 1 знать процессы, протекающие в аппаратах распределительных устройств, принцип работы и выбора аппаратов распределения и защиты электрических цепей
	умение	У-ПК-4. 1 уметь определять исправность электрических аппаратов распределения и защиты электрических цепей
	владение	В-ПК-4. 1 владеть методикой выбора электрических аппаратов распределения и защиты электрических цепей

4 ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 3-Цели и задачи воспитания, воспитательный потенциал дисциплин:

Формулировка воспитательной компетенции	Формируемые навыки	Инструменты и условия формирования
Формирование ответственности и аккуратности в работе с электротехническим оборудованием (В26)	формирование навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдение мер предосторожности.	при выполнении исследовательских и практических задач с высоким напряжением на оборудовании лабораторных стендов и на предприятиях отраслевой промышленности.
Формирование коммуникативных навыков в области эксплуатации электротехнического оборудования (В27)	формирование профессиональной коммуникации в научной среде; формирование разностороннего мышления и тренировка готовности к работе в профессиональной и социальной средах	Посредством привлечения действующих специалистов к реализации учебных дисциплин.

5 ПРИНЦИПЫ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КУРСА

Курс «Электрические и электронные аппараты» строится по традиционным принципам, т.е. теоретические занятия и лабораторные и практические занятия.

Теоретический курс «Электрические и электронные аппараты» включает в себя следующие взаимосвязанные разделы:

- основы теории электрических аппаратов;
- техника высоких напряжений;
- аппараты распределительных устройств.

Знание основных положений каждого из разделов обеспечивает необходимый уровень подготовки специалистов в области разработки, эксплуатации и ремонта электрооборудования различного назначения.

Первый раздел – основы теории электрических аппаратов – рассматривает методы расчёта электродинамических сил, действующих на токоведущую систему аппарата и изоляционную конструкцию, нагрев электрических аппаратов, процессы, происходящие в электрических контактах и изоляцию электрических аппаратов.

Второй раздел – техника высоких напряжений – рассматривает вопросы развития электрических разрядов в газах в объёме и по поверхности, меры защиты электрических и электронных аппаратов от такого вида разрядов, а также возникновения различного рода перенапряжений и способы борьбы с ними.

Раздел «Аппараты распределительных устройств» рассматривает особенности конструкции преобразовательных и распределительных устройств, физические процессы, происходящие в этих устройствах, правила эксплуатации аппаратов, в том числе методы диагностики оборудования.

При выполнении лабораторных работ студенты знакомятся не только с конструкцией устройств, но и получают навыки диагностики оборудования и разрабатывают методы устранения выявленных дефектов, либо определяют возможные ограничения по использованию исследуемых устройств.

При изучении курса для студента предусмотрена возможность для самостоятельной работы. С этой целью разработаны темы домашних работ.

6 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

6.1. Структура учебной дисциплины

Таблица 4-Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
Реф	Реферат
КИ	Контроль по итогам
АКР	Аудиторная контрольная работа
ДЗ	Домашняя работа
З	Зачет
Э	Экзамен
Диф.з.	Дифференцированный зачет
КР	Курсовая работа

Таблица 5

№ п/п	Название темы/раздела учебной дисциплины	Виды учебных занятий, и их трудоемкость (в часах)					Текущий контроль	Аттестация раздела	Максимальный балл за раздел**	Индикаторы освоения компетенции
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Курсовые работы/проекты	Самостоятельная работа				
1	Основы теории электрических аппаратов	2	2	-	-	3	Т		5	3-ПК-4
2	Нагрев аппарата и термическая стойкость.	2	4	-	-	3		АКР 1	5	3-ПК-4
3	Электрические контакты	2	4	-	-	3	Т		5	3-ПК-4
4	Теория перенапряжений	2	2	2	-	5	КИ		5	3-ПК-4
5	Электрические аппараты низкого напряжения	3	2	2	-	6		АКР 2	5	У-ПК-4
6	Электрические аппараты высокого напряжения	2	4	2	-	5	Т		5	В-ПК-4.
7	Электронные аппараты низкого напряжения	3		4	-	6	ДЗ		5	У-ПК-4
8	Электронные аппараты высокого напряжения	2		2	-	5	КИ		5	В-ПК-4
Итого:		18	18	16	-	92			50	
Зачет								3	50	
Всего									100	

3.2. Лекционные , практические и лабораторные занятия

Таблица 6

семестр	Неделя	Часы	Темы лекционных занятий (18 часов)
1	2	3	4
	1	1	Электродинамические усилия. Методы расчёта.
	1	1	Электродинамические усилия в месте изменения сечения проводника и при наличии ферромагнитных частей. Механический резонанс.
	3	1	Активные потери энергии в аппаратах. Способы передачи тепла внутри нагретых тел.
	3	1	Установившийся процесс нагрева. Нагрев аппарата в переходных режимах и при коротком замыкании.

	4	1	Термическая стойкость аппарата. Тепловой расчёт элементов аппарата.
	4	1	Электрические контакты. Режимы работы контактов. Конструкция контактов.
	7	1	Разряды в газах. Грозовые перенапряжения. Защита от грозовых перенапряжений.
	7	1	Внутренние перенапряжения. Способы ограничения внутренних перенапряжений.
	8	1	Методы гашения электрической дуги.
	8	1	Дугогасительные устройства. Конструкция.
	9	1	Предохранители. Выбор предохранителя.
	9	1	Выключатели высокого и низкого напряжения.
	10	1	Трансформатор тока. Назначение. Выбор.
	10	1	Ограничители перенапряжений. Разрядники.
	11	1	Релейная защита. Аппараты на основе реле.
	12	1	Магнитные цепи.
	13	1	Электромагниты и аппараты на их основе.
	14	2	Электронные аппараты высокого и низкого напряжения.
Лабораторные работы (16 часов)			
	15	4	Пробой изоляционных материалов
	16,17	4	Ознакомление с конструкцией аппаратов с применением комплекта учебного оборудования " электрические аппараты"
	18	4	"Проверка пускозащитной аппаратуры и аппаратуры управления на пригодность"
		4	"Основы электромонтажа электрических аппаратов"
Практические работы (18 часов)			
	2	2	Расчет электродинамических усилий
	5	2	Тепловой расчет
	6	2	Расчет токов
	7	2	Расчет переходного сопротивления
	8	2	Расчет термостойкости
	9	2	Выбор реле
	10	2	Выбор модульного выключателя
	13	4	Расчет заземлителей

3.3. Самостоятельная работа студентов (92 часов)

Таблица 6

Вид самостоятельной работы студента	Норма времени	Срок выдачи	Срок сдачи
Подготовка к выполнению, оформление и защита отчета по лабораторной работе	36 часов	февраль	май
Пробой изоляционных материалов	9 часа	февраль	май
Ознакомление с конструкцией аппаратов с	9 часа	март	май

применением комплекта учебного оборудования " электрические аппараты"			
"Проверка пускозащитной аппаратуры и аппаратуры управления на пригодность"	9 часа	апрель	май
Основы электромонтажа электрических аппаратов"	9 часа	апрель	май
Выполнение и оформление домашних заданий	20 часов	март	май
Изучение методики выбора предохранителей для электрооборудования	10 час	март	май
Изучение методики расчёта зон защиты отдельно стоящих молниеотводов для защиты наземных объектов	10 час	март	май
Подготовка к зачету	36 часов	июнь	июнь

7 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия (36 часов) проводятся в форме лекционных, практических и лабораторных занятий, а также аудиторных консультаций. Лекционные занятия сопровождаются слайдами презентации по теме.

Во время консультационных занятий:

- проводится объяснение непонятных для студентов разделов теоретического курса;
- принимаются задолженности по тестовым работам и т.д.

Для контроля усвоения студентами разделов данного курса применяются тестовые технологии: на кафедре формируется специальный банк КИМ, который подразумевает тестирование по изученным темам, проведение соответствующих плану практик и лабораторных работ, выполнение двух домашних работ.

Самостоятельная работа студентов (36 часов) подразумевает под собой рассмотрение учебного лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам, подготовку к лабораторному практикуму, выполнение ДР. Виды самостоятельной работы и их трудоемкость описаны в п. 3.3.

Для закрепления и углубления знаний в течение семестра студенты выполняют домашние расчётно-графические задания по темам, приведенным в п. 3.3.

Темы лабораторных работ, которые можно провести на оборудовании лабораторных стендов, приведены в таблице 7. Выбор темы лабораторной работы осуществляет преподаватель, ориентируясь на потребности предприятия-заказчика специалистов профиля подготовки.

Таблица 7 - Перечень всех тем лабораторных работ и экспериментов, выполняемых на стендах

Лабораторный стенд "Проверка пускозащитной аппаратуры и аппаратуры управления на пригодность"	"Проверка пускозащитной аппаратуры и аппаратуры управления на пригодность"
монтажная панель: Типовой комплект учебного оборудования «Основы электромонтажа электрических аппаратов»	1. Технология электромонтажных работ. 2. Электромонтаж схем с применением реле постоянного тока. 3. Электромонтаж схем с применением реле переменного тока. 4. Электромонтаж схем с применением контакторов переменного тока. 5. Электромонтаж схем с применением магнитного пускателя переменного тока. 6. Электромонтаж схем с применением самовосстанавливающихся предохранителей. 7. Электромонтаж схем с применением автоматических выключателей с тепловым расцепителем и с расцепителем максимального тока. 8. Электромонтаж схем с применением устройства защитного отключения (УЗО). 9. Электромонтаж схем с применением реле времени. 10. Электромонтаж схем с применением реле напряжения. 11. Электромонтаж схем с применением реле максимального тока. 12. Электромонтаж схем с применением теплового реле. 13. Электромонтаж схем с применением

	концевого выключателя. 14. Электромонтаж схем с применением бесконтактных датчиков (выключателей). 15. Электромонтаж схем с применением устройств сигнализации. 16. Электромонтаж схем с применением трансформатора тока. 17. Электромонтаж схем с применением трансформатора напряжения.
Типовой комплект учебного оборудования " электрические аппараты"	Модуль «Автотрансформатор» Модуль «Модуль измерительный» Модуль «Секундомер и светосигнальная арматура» Модуль «Электромагнитное реле» Модуль «Реле времени и напряжения» Модуль «Предохранители и автоматические выключатели» Модуль «Магнитный пускатель» Модуль «Реле тока и тепловое реле» Модуль «Командоаппараты и датчики»

Итоговый контроль знаний по курсу «Электрические и электронные аппараты» производится в форме зачета.

Для получения зачета необходимо:

- правильно ответить на вопросы текущих тестов, (вопросы приведены ниже);
- выполнить и в соответствующем порядке оформить отчеты по всем лабораторным работам;
- выполнить и в соответствующем порядке оформить все домашние задания;

Выполнение указанных выше требований позволяет накопить к зачету 50 баллов. Для получения зачета нужно заработать 60 и более баллов. Для этого необходимо ответить на вопросы аттестационного теста (тест приведен в пункте 8).

Вопросы для подготовки к аттестации по предмету

- Электродинамические усилия в электрических аппаратах. Методы расчёта.
- Нагрев электрических аппаратов.
- Физико-химические процессы в электрических контактах.
- Разряды в газах. Электрическая дуга.
- Молния. Защита от грозовых перенапряжений.
- Методы гашения электрической дуги. Дутогасительные устройства.
- Предохранители. Конструкция. Выбор.
- Электромагнитное реле. Конструкция.
- Способы регулирования тока срабатывания электромагнитного реле тока.
- Реле напряжения

- Трансформатор тока. Конструкция. Выбор.
- Электронные аппараты. Тиристоры. Транзисторы.
- Магнитные цепи. Электромагниты.

Индикаторы усвоения компетенции ПК -4.1

Текст индикаторов	Инструмент контроля	Методика оценки степени усвоенности
3-ПК-4. 1 знать процессы, протекающие в аппаратах распределительных устройств, принцип работы и выбора аппаратов распределения и защиты электрических цепей	Аттестационный тест, часть А	Высокая степень усвоения – 20-30 баллов, полученных при выполнении заданий части А. достаточная степень усвоения – 15-20 баллов, полученных при выполнении заданий части А. недостаточная степень усвоения – ниже 15 баллов, полученных при выполнении заданий части А.
У-ПК-4. 1 уметь определять исправность электрических аппаратов распределения и защиты электрических цепей	Аттестационный тест, часть Б, Лабораторные работы	Высокая степень усвоения – 20 баллов, полученных при выполнении заданий части Б и защита всех лабораторных работ. достаточная степень усвоения – 10 баллов, полученных при выполнении заданий части Б и защита всех лабораторных работ. недостаточная степень усвоения – ниже 10 баллов, полученных при выполнении заданий части Б и защита не всех лабораторных работ.
В-ПК-4. 1 владеть методикой выбора электрических аппаратов распределения и защиты электрических цепей	Домашняя работа 1, домашняя работа 2	достаточная степень усвоения – 10 баллов, полученных при выполнении домашних заданий и их защита. недостаточная степень усвоения – ниже 10 баллов, полученных при выполнении домашних заданий.

8 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Ниже приведена практика по теме «Электродинамические усилия».

Исходные данные части заданий зависят от варианта по списку. Выполнение задач предполагает усвоение указанной темы. Максимальное количество баллов за практику – 4 балла.

Пример текущего теста для проверки знаний, усвоенных при изучении разделов, приведен ниже. Текущий тест проводится перед началом нового раздела (продолжительность 5-10 мин). Максимальное количество баллов за тест – 1 балл.

ПРАКТИКА ПО ТЕМЕ : «ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ»

Задача № 1

Требования к ВВ выдерживать без повреждений воздействие токов КЗ, характеризуются понятиями электродинамической и термической стойкости ДУ.

Ток электродинамической стойкости I_d определяет максимально возможные механические (электродинамические) усилия, возникающие вследствие протекания тока по токоведущим и контактным системам ДУ, способные не только деформировать токоведущие и контактные системы ДУ, но и вызвать вибрацию контактов, что, в конечном счете, приведет к свариванию последних.

$$I_d = K_d I_{o. ном}$$

Так $K_d = 2,5$ — коэффициент электродинамической стойкости действителен (в соответствии с ГОСТ 52565-06) для сетей с $\cos \varphi < 0,15$ и постоянной времени 45 мсек.

Этот частный случай в энергосистеме выбран как нормирующий при испытаниях ВВ. Процесс возникновения тока КЗ и апериодической составляющей носит случайный характер и реальная предельная амплитуда тока КЗ — ударный ток I_y , а, следовательно, и коэффициент K_d , зависят от многих параметров электроэнергосистемы.

Например, $K_d = 3$ — максимальный коэффициент электродинамической стойкости для сетей 55кА с $\cos \varphi = 0,7$ и временем воздействия 2 сек.

Для КСО 292/298 $K_d = 22,5$.

9 Согласно ГОСТ 2327-78 выключатели, разъединители и переключатели должны удовлетворять требованиям:

2.10. Аппараты должны быть стойкими при протекании сквозных токов (термическая и электродинамическая стойкость), значения которых должны быть не менее указанных в табл. 5.

Таблица 5

Номинальный ток, А	Электродинамическая стойкость, кА (ампл)		Термическая стойкость, кА ² · с	
	1 группа	2 группа	1 группа	2 группа
25	6,3	5	10	10
63	10	6,3	25	12
100	20	10	50	16
160	28	—	81	—
250	40	20	120	64
315	52	—	225	—
400	65	30	240	144
500	72	—	324	—
630	80	35	512	256
1000	84	—	1120	—
1600	90	—	1850	—
2500	100	—	4500	—
4000	160	—	11520	—
6300	200	—	14400	—

Рисунок 1. Таблица 5 ГОСТ 2327-78

Задание: Определить K_d для первой группы аппаратов, представленных на рисунке 1.

Задача № 2

Если пренебречь влиянием ферромагнитных масс, а это допущение является верным для большинства случаев, то наиболее удобным путём для определения индукции B или напряжённости магнитного поля H является применение закона Био-Саварра-Лапласа. Этот закон позволяет дать выражение для элементарной составляющей напряжённости магнитного поля dH в точке A от

элемента dx по которому протекает ток i (рисунок 2): $dH = \frac{i}{4\pi} \frac{dx \sin \alpha}{r^2}$. Интегрируя значения

H и преобразуя их, получим: $H = \frac{i}{4\pi} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{h}$.

Учитывая, что в воздухе $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, получаем: $B = \mu_0 H = i \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{h} 10^{-7}$.

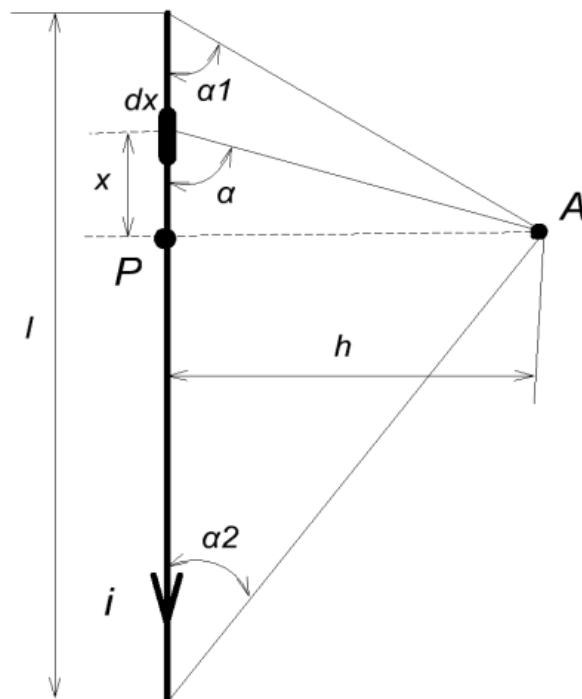


Рисунок 2. К определению ЭДУ.

Задание: Определить в точке А, удаленной от проводника на 0,015м величину магнитной индукции для следующих данных:

вариант	Ток, А	α_1 , град	α_2 , град
1	3	10	45
2	4	25	30
5	6	100	60
7	8	20	90

Задача № 3

Для двух проводников с током, зная магнитную проницаемость воздуха μ_0 можно записать:

$$F = i_1 i_2 10^{-7} \frac{(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) l}{h},$$

$$\frac{(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) l}{h} = c$$

где $\frac{(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) l}{h}$ — называется коэффициентом контура, который зависит от геометрического расположения проводников. При вычислениях ЭДУ, в первую очередь, удобнее производить вычисления коэффициента контура, а уже потом вычисление усилий не представляет трудностей.

10 Задание: Определить ЭДУ, действующее на проводник Р, если через точку А проходит проводник с током 15А для следующих данных:

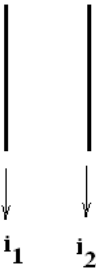
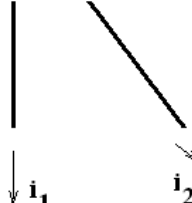
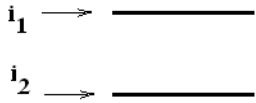
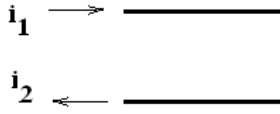
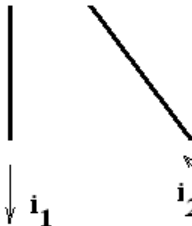
вариант	Ток, А	Длина проводника Р, м	Удаление проводника А от проводника Р по нормали (перпендикуляр) , м	Удаление проводника А от начала проводника Р, м
1	10	3	500	0,15
2	25	4	1000	0,10
5	100	6	25	0,20
7	20	8	100	0,30

Задача № 4

Основное положение: проводники с одинаковым направлением токов в них притягиваются друг к другу, а проводники с противоположным направлением токов – отталкиваются один от другого. Отсюда же выходит, что для проводников, лежащих в одной плоскости и непараллельных, применяется правило: необходимо оси рассматриваемых проводников продолжить до пересечения друг с другом; если в образованном при этом угле ток переходит от одного проводника к другому, то ЭДУ стремится расширить угол, образованный осями проводников, и наоборот. Причём усилия лежат в плоскости проводников.

Задание: Определить направление (обозначить на рисунке) ЭДУ, при параллельном и непараллельном положении проводников в одной плоскости.

11

Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
			
Схема 5	Схема 6	Схема 7	Схема 8
			

Задача № 5

В ряде случаев приходится иметь дело не только с силами, но и с их моментом относительно некоторой точки, зависящим от распределения ЭДУ вдоль проводника.

Если удельная нагрузка ЭДУ вдоль подвергающегося воздействию проводника постоянна, то результирующее усилие всегда приложено к середине проводника. В тех случаях, когда удельная нагрузка ЭДУ или коэффициент контура непостоянны по длине проводника, может возникнуть задача нахождения точки приложения равнодействующей этого усилия.

Допустим, имеются две параллельные силы F_1 и F_2 , приложенные к проводнику AB (рисунок 3). Равнодействующая этих сил равна их алгебраической сумме и должна быть приложена к проводнику в некоторой точке C . Положение точки C определяется равенством относительно неё абсолютных значений моментов сил F_1 и F_2 :

$$\frac{AC}{CB} = \frac{F_2}{F_1}$$

Если к концу вектора F_1 добавить вектор F_2 , а к концу вектора F_2 добавить вектор F_1 , получим точки E и H . Образовалось два подобных треугольника DEK и GHK . Соединяем точки E и H , и проведём через точку K пересечения лучей TG и HD вектор, параллельный векторам F_1 и F_2 . Полученный вектор CL определяет величину равнодействующей силы, а точка C – место приложения равнодействующей силы.

Данным методом можно определить точку приложения равнодействующей силы в любых существующих конструкциях.

Задание: Определить величину и место приложения равнодействующей силы для данных:

вариант	Длина АВ, м	Угол отклонения от горизонтали	F_1, H	F_2, H
1,3	Соответствует номеру варианта	45^0	3	5
2,4		30^0	6	10
5,7		60^0	7	4
6,8		0^0	80	20

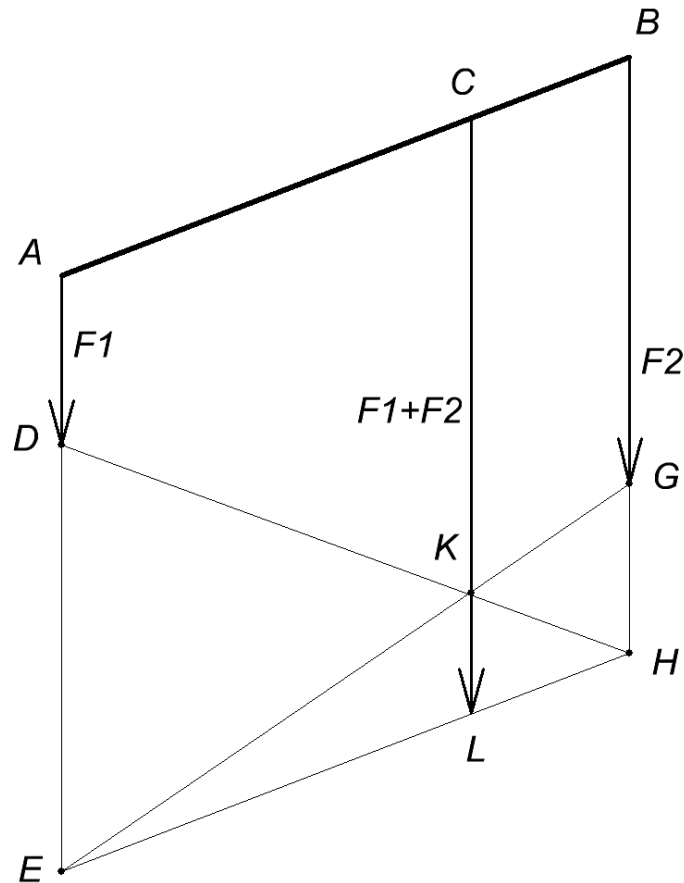


Рисунок 3. Определение точки приложения равнодействующей силы.

Момент сил относительно некоторой точки равен произведению их равнодействующей на плечо относительно этой же точки.

В случае, когда проводник представляет собой балку, закреплённую с двух концов, и нагрузка распределена равномерно, расстояние точки приложения от любой из опор равно $0,5L$, где L – длина пролёта между опорами, тогда наибольший изгибающий момент: $M_{\max} = 0,125 FL$

Если же распределение нагрузки вдоль проводника изменяется от нуля до максимума по прямолинейному закону, тогда величина максимального изгибающего момента на расстоянии $0,58L$ составляет: $M_{\max} \approx 0,128 FL$.

Для неблагоприятного случая, когда максимальный момент находится в середине пролёта, величина максимального изгибающего момента на расстоянии $0,5L$ составляет: $M_{\max} = 0,167 FL$.

Задача № 6

Если расстояние между проводниками значительно меньше их длины, $a/l \ll 1$, то коэффициент контура c можно принять равным $2l/a$ (бесконечно длинные проводники).

Для произвольно расположенных параллельных проводников разной длины коэффициент контура (рисунок 5):

$$c = \frac{(D1 + D2) - (S1 + S2)}{a}.$$

При нахождении ЭДУ было принято допущение, что сечение проводников бесконечно мало и весь ток идёт по их геометрической оси. В действительности сечение проводников всегда конечно. Круглая и кольцевая формы сечения проводников не влияют на ЭДУ, так как магнитные силовые линии вокруг проводников представляют собой окружности, и можно считать, что ток сосредоточен в геометрической оси проводника. При прямоугольной форме сечения его размеры влияют на ЭДУ, так как магнитные силовые линии около проводников являются не окружностями, а овалами. Это влияние учитывается с помощью кривых Двайта (рисунок 4), по которым находится коэффициент формы k_f , после чего значение ЭДУ находится как:

$$F = 10^{-7} i_1 i_2 c k_f.$$

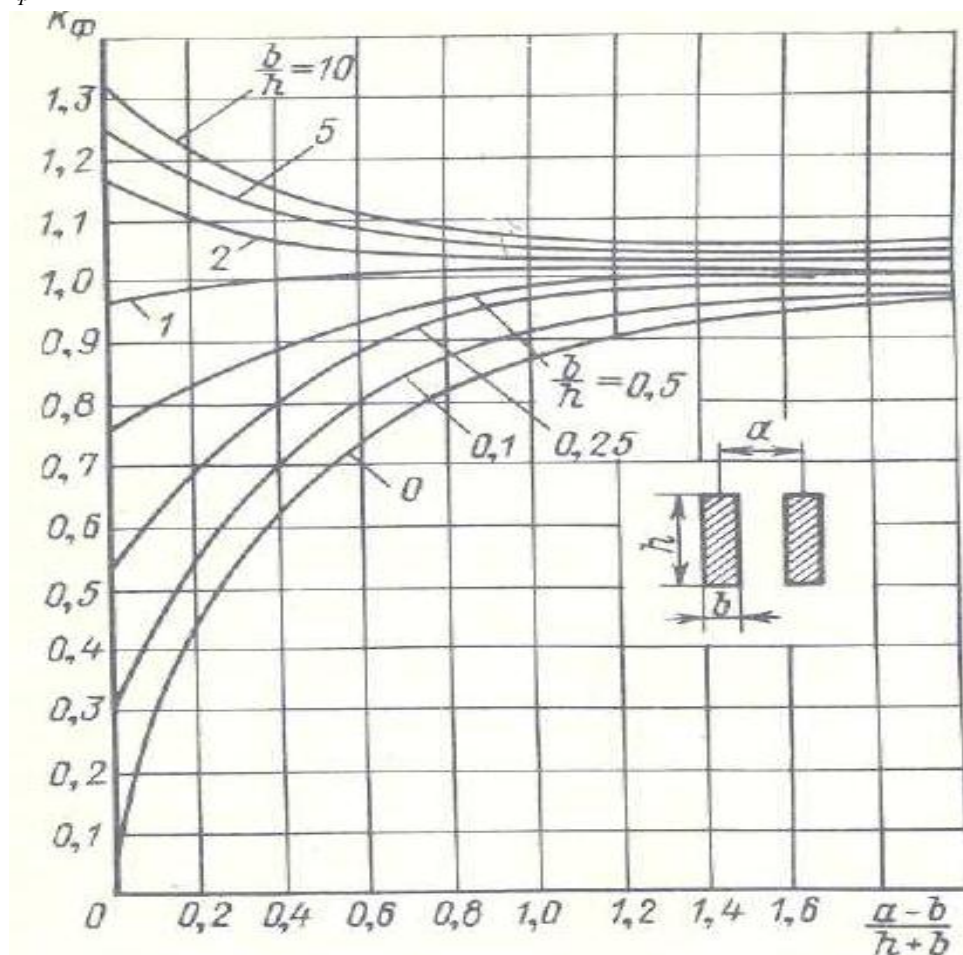


Рисунок 4. Кривые Двайта для определения коэффициента формы

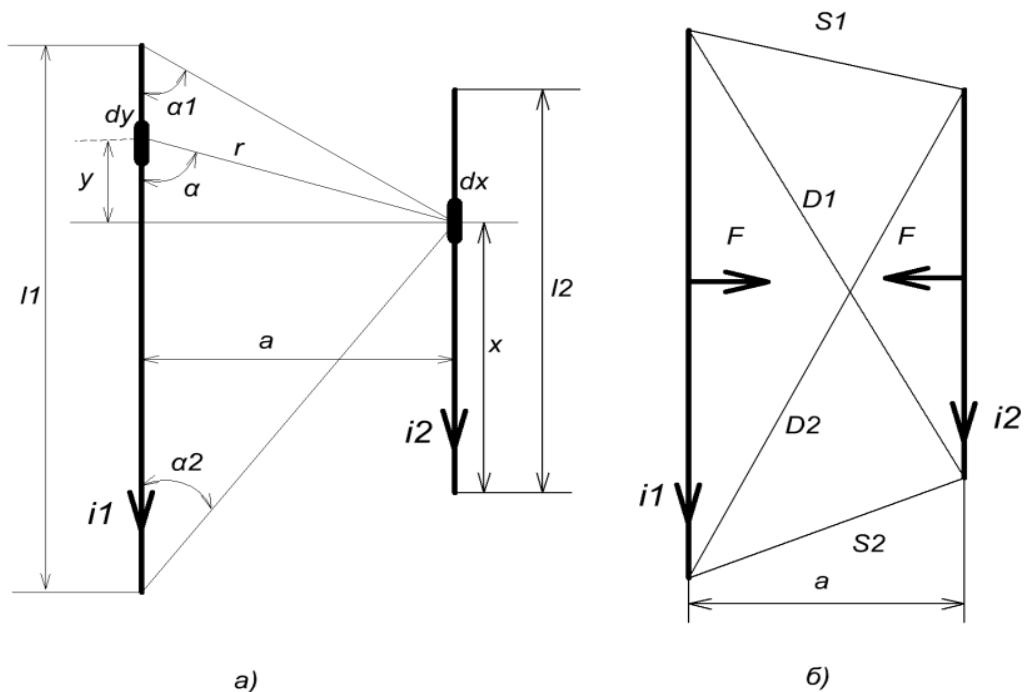


Рисунок 5. К определению коэффициента контура

Задание: Определить величину ЭДУ, действующую на проводники 1 и 2, если проводники параллельны и находятся в одной плоскости для следующих двух вариантов данных:

Вариант первый	Длина провода 1, м	Длина провода 2, м	a, мм	b, мм	h, мм	i_1, A	i_2, A
1,3	20	20	0,5	1	2	20	25
2,4	10	30		0,85	3	35	32
5,7	100	50		0,85	4	28	24
6,8	200	200		1,25	4,5	45	42
9,10	300	150		0,9	5	27	30

Вариант второй	Длина провода 1, м	Длина провода 2, м	Сечение провода (b= h), мм ²	i_1, A	i_2, A	a, мм
1,3	20	20	6	40	46	0,5
2,4	10	30	10	50	70	
5,7	100	50	16	85	75	
6,8	200	200	4	38	30	
9,10	300	150	2,5	25	27	

Задача № 7

Толщина слоя, где протекает ток, называется глубиной проникновения, и условно принимается такой, чтобы плотность тока на его внутренней поверхности была в e (2,73) раз меньше, чем на наружной поверхности. Это даёт для глубины проникновения b :

$$b = \frac{5030}{\sqrt{f\gamma\mu}}, \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

где γ – удельная проводимость, f – частота тока, μ – магнитная проницаемость.

Задание: Определить глубину проникновения тока с заданной частотой для данных:

Металл	Частота, Гц	Фазовая скорость, м/с	Длина волны, м
Медь $\gamma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$	50	2,9	$5,9 \cdot 10^{-2}$
	800	11,7	$1,15 \cdot 10^{-2}$
	10^6	415	$4,15 \cdot 10^{-4}$
	10^{10}	41 500	$4,15 \cdot 10^{-6}$
Алюминий $\gamma = 3,5 \cdot 10^7 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$	50	3,8	$7,6 \cdot 10^{-2}$
	800	15,1	$1,9 \cdot 10^{-2}$
	10^6	535	$5,35 \cdot 10^{-4}$
	10^{10}	53 500	$5,35 \cdot 10^{-6}$

ПРИМЕР ТЕКУЩЕГО ТЕСТА ПО ТЕМЕ «КОНТАКТЫ»

№ вопроса	Формулировка вопроса	Варианты ответов	Выбранный ответ
1	Выберите понятие термической стойкости аппарата:	Способность аппарата выдерживать тепловое воздействие тока короткого замыкания.	
		Способность аппарата выдерживать электромагнитное воздействие тока короткого замыкания.	
		Способность аппарата выдерживать инфракрасное и ультрафиолетовое воздействие тока короткого замыкания.	
2	Как выражается связь между токами термической стойкости аппарата и значениями времен?	$I^2_1/1 = I^2_3/3 = I^2_5/5 = I^2_{10}/10$	
		$I^2_1 \cdot 1 = I^2_3 \cdot 3 = I^2_5 \cdot 5 = I^2_{10} \cdot 10$	
		$I^2_1 \cdot U_1 = I^2_3 \cdot U_3 = I^2_5 \cdot U_5 = I^2_{10} \cdot U_{10}$	

ПРИМЕР АТТЕСТАЦИОННОГО ТЕСТА

СОСТАВИЛ:

Тунёва А.А., ст. преподаватель
кафедры ПЭ,

УТВЕРЖДАЮ:

зав. кафедрой ПЭ
Зиновьев Г.С., доцент
кафедры ПЭ, к.т.н.

НТИ НИЯУ «МИФИ» Кафедра Промышленной электроники

Аттестационный тест

Итоговая аттестация по дисциплине «Электрические и электронные аппараты» (7 семестр по РУП)

Дата проведения _____

Ф.И.О. студента _____ Группа _____ Подпись _____

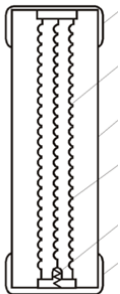
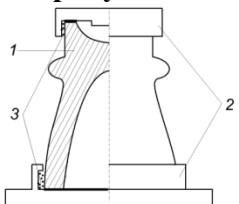
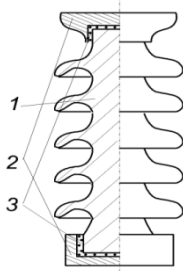
Максимум по части «А» - 30 баллов. Максимум по части «Б» -20 баллов.

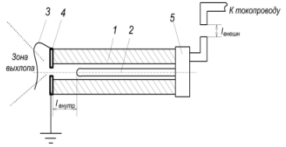
Результаты текущего и итогового контроля студента

Текущий контроль	Аттестационный тест	Итоговый контроль
_____ баллов	_____ баллов	_____ баллов

Часть А. Определяет знания, сформированные в процессе изучения дисциплины

№ вопроса	Формулировка вопроса	Варианты ответов	Выбранный ответ
1	Выберите понятие термической стойкости аппарата:	Способность аппарата выдерживать тепловое воздействие тока короткого замыкания.	
		Способность аппарата выдерживать электромагнитное воздействие тока короткого замыкания.	
		Способность аппарата выдерживать инфракрасное и ультрафиолетовое воздействие тока короткого замыкания.	
2	Как выражается связь между токами термической стойкости аппарата и значениями времен?	$I^2_1/1 = I^2_3/3 = I^2_5/5 = I^2_{10}/10$	
		$I^2_1 \cdot 1 = I^2_3 \cdot 3 = I^2_5 \cdot 5 = I^2_{10} \cdot 10$	
		$I^2_1 \cdot U_1 = I^2_3 \cdot U_3 = I^2_5 \cdot U_5 = I^2_{10} \cdot U_{10}$	
3	Что такое электрический контакт?	– это место спайки одного элемента токоведущей системы с другим элементом.	
		– это место перехода тока из одного элемента токоведущей системы в другой элемент в месте их соприкосновения.	

		– это место перехода электромагнитного сигнала из одного элемента токоведущей системы в другой элемент в месте их соприкосновения.	
4	Укажите основные группы электрических контактов:	размыкающиеся, неразмыкающиеся, скользящие.	
		точечные, линейные, поверхностные.	
		все вышеперечисленное	
5	Что такое дугогасительное устройство?	Устройство, обеспечивающее гашение дуги в любом случае.	
		Устройство, обеспечивающее гашение дуги за минимальное время с допустимым уровнем перенапряжений, при минимальных внешних эффектах.	
		Устройство, обеспечивающее гашение дуги за оптимальное время с нулевым уровнем перенапряжений.	
6	Какие полупроводниковые ключи применяются для полупроводниковых коммутационных аппаратов?	в качестве ключевых элементов используют силовые диоды.	
		в качестве ключевых элементов используют тиристоры.	
		в качестве ключевых элементов используют силовые транзисторы.	
7	Какой тип предохранителя представлен на рисунке? 	Плавкий предохранитель со штырьковыми выводами	
		Электронный предохранитель	
		Электрохимический предохранитель	
		кварцевый плавкий предохранитель	
8	Какой тип изолятора представлен на рисунке? 	опорный	
		опорно-штыревой	
		опорно-стержневая колонка	
9	Какой тип изолятора представлен на рисунке? 	опорный	
		опорно-штыревой	
		опорно-стержневая колонка	

10	Какие меры применяют для повышения разрядного напряжения изоляторов?	Увеличивают длины пути утечки за счёт увеличения числа изоляторов в колонке или увеличивают длины и числа рёбер во вводах, применение специальных типов изоляторов.	
		Применяют полимерные изоляторы, которые хорошо отталкивают воду и загрязнения.	
		Чаще проводят ППР токоведущих частей.	
11	Причины возникновения внутренних перенапряжений?	плановые, аварийные стационарные	
		индуктированные связи с внешним магнитным полем	
		Емкостные связи с внешним электрическим полем	
12	Какой разрядник представлен на схеме? 	Трубчатый	
		Вентильный	
		Длинноискровой	
13	Что такое ОПН?	Аппарат защиты от перенапряжений в высоковольтных установках с возможностью глубокого ограничения перенапряжения.	
		Ограничитель пробивного напряжения	
		Аппарат защиты от пробивных напряжений в высоковольтных установках.	
14	Что такое АВВ?	Автоматический вакуумный выключатель	
		Автоматический воздушный выключатель	
		Автоматический вентильный выключатель	
15	Укажите требования по выбору плавкого предохранителя:	1. Плавкая вставка не должна перегорать при прохождении максимального тока нагрузки. 2. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимально возможным. 3. Предохранитель должен иметь характеристику, проходящую ниже характеристики защищаемого объекта.	
		1. Плавкая вставка должна перегорать при прохождении максимального тока нагрузки. 2. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть не менее 0,5сек. 3. Предохранитель должен иметь характеристику, проходящую выше характеристики защищаемого объекта.	

Часть Б. Определяет умения и навыки, сформированные в процессе изучения дисциплины

№	Формулировка задания	Ответ студента	балл												
1	Требования, предъявляемые к аппарату защиты.														
2	Основные параметры ограничителей перенапряжения														
3	Сделайте вывод о исправности реле напряжения РН-53	При проведении регламентных работ по поверке реле напряжения РН-53 были получены следующие результаты измерений: <table><tr><td>параметр</td><td>Измерение 1</td><td>Измерение 2</td></tr><tr><td>Напряжение срабатывания, В</td><td>51</td><td>65</td></tr><tr><td>Напряжение возврата, В</td><td>24</td><td>40</td></tr><tr><td>Напряжение уставки, В</td><td>50</td><td>60</td></tr></table> Справка: По паспортным данным реле серии РН-53 коэффициент возврата должен быть не менее 0,8. Разброс напряжения срабатывания всех типов реле, а также погрешность срабатывания должна быть не более ±5%.	параметр	Измерение 1	Измерение 2	Напряжение срабатывания, В	51	65	Напряжение возврата, В	24	40	Напряжение уставки, В	50	60	
параметр	Измерение 1	Измерение 2													
Напряжение срабатывания, В	51	65													
Напряжение возврата, В	24	40													
Напряжение уставки, В	50	60													

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Основная литература

Акимов Е.Г., Белкин Г.С., Годжелло А.Г., Дегтярь В.Г., Курбатов П.А., Райнин В.Е., Таев И.С., Шоффа В.Н. Основы теории электрических аппаратов
Издательство: Лань: 978-5-8114-1800-8 ISBN: 2015 Год: 5-е изд., Издание перераб.
и доп. – 592 стр. Гриф: Допущено УМО И. П.

9.2. Дополнительная и справочная литература

Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование [Электронный ресурс]: справочник. Учебное пособие для вузов/ Алиев И.И.— Электрон.текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2014.— 1199 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9654>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Электрические и электронные аппараты [Электронный ресурс]: методические указания к курсовой работе для студентов по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и автоматика» очной и очно-заочной форм обучения/ — Электрон.текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013.— 49 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22949>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Электрические и электронные аппараты Методические указания к лабораторным работам для студентов по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» профиля подготовки «промышленная электроника» очной и очно-заочной форм обучения/ — НТИ НИЯУ МИФИ, 2024.

Электрические и электронные аппараты. Методические указания к выполнению домашней работы «Изучение методики выбора предохранителей для электрооборудования» по курсу Электрические и электронные аппараты для студентов 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» профиля подготовки «промышленная электроника» очной и очно-заочной форм обучения/, НТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – 32 с.: ил.

Молниезащита. Методические указания к выполнению домашнего задания 2 по курсу «Электрические и электронные аппараты» для студентов 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» профиля подготовки «промышленная электроника» очной и очно-заочной форм обучения/, НТИ НИЯУ МИФИ, , 2007. – 16 с.

10 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Для проведения аудиторных занятий используются аудитории НТИ НИЯУ МИФИ, оснащенные проекторами, экранами и компьютерами. Для проведения лабораторных работ используется следующее оборудование лабораторного фонда:

Лабораторный стенд «пробой изоляционных материалов»
Лабораторный стенд "Проверка пускозащитной аппаратуры и аппаратуры управления на пригодность" ЭМ ППААУ
Типовой комплект учебного оборудования "Основы электромонтажа электрических аппаратов" исполнение настольное монтажная панель ОЭЭА-НМП
Типовой комплект учебного оборудования " электрические аппараты" исполнение настольное , ручное ЭА-НР , исполнение настольное , ручное ЭА-НР