

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Степанов Павел Иванович
Должность: Руководитель НИИ НИЯУ МИФИ
Дата подписания: 25.02.2026 14:58:12
Уникальный программный ключ:
8c65c591e26b2d8e460927740cf752622aa1085

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 НИИ НИЯУ МИФИ
Протокол №3 от 24.04.2023 г.

Рабочая программа учебной дисциплины
«Электрические и электронные аппараты»

Направление подготовки (специальность)	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Профиль подготовки (специализация)	Промышленная электроника
Квалификация (степень) выпускника	Бакалавр
Форма обучения	Очная

г. Новоуральск, 2022

Семестр	7
Трудоемкость, ЗЕТ	2 ЗЕТ
Трудоемкость, ч.	72 ч.
Аудиторные занятия, в т.ч.:	36 ч.
- лекции	18 ч.
- практические занятия	18 ч.
- лабораторные занятия	
- курсовой проект (работа)	
Самостоятельная работа	36 ч.
Занятия в интерактивной форме	4
Форма итогового контроля	зачет

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

СОДЕРЖАНИЕ

1	Требования к курсу.....	4
2	Образовательно-профессиональные требования к курсу.....	4
3	Межпредметные связи курса.....	4
4	Принципы и особенности построения курса.....	1
5	Цели и задачи курса.....	2
6	Структура курса.....	3
7	Содержание курса.....	4
7.1	Лекционные и лабораторные занятия.....	4
8	Самостоятельная работа студентов.....	5
9	Итоговый контроль по дисциплине.....	6
10	Список вопросов к зачёту.....	6
11	Учебно-методические материалы по дисциплине.....	16
11.1	Основная литература.....	16
11.2	Дополнительная и справочная литература.....	16

1 Требования к курсу

Рабочая программа составлена в соответствии с Образовательным стандартом высшего образования Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» профиль подготовки «Промышленная электроника».

2 Образовательно-профессиональные требования к курсу.

2.1 Дисциплина «Электрические и электронные аппараты» принадлежит к специальному циклу модуля профессиональных дисциплин подготовки дипломированных специалистов по специальности 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» профиль подготовки «Промышленная электроника» и введена как компонента по выбору в совокупности с дисциплиной «элементы систем автоматики».

2.2 Согласно ГОС по специальности студент в результате усвоения дисциплины «Электрические и электронные аппараты» должен знать:

- конструкцию электрических аппаратов высокого и низкого напряжения, используемых для распределения электроэнергии;
- основы теории электрических аппаратов;
- процессы, происходящие в контактных системах электрических аппаратах;
- основы теории электронных аппаратов на основе полупроводниковых приборов;
- основные понятия электрических аппаратов и стандартную терминологию;
- уметь выполнить расчёт и произвести выбор аппарата для требуемой электроустановки;

3 Межпредметные связи курса.

Базовыми дисциплинами для изучения курса «Электрические и электронные аппараты» являются «Физика», «Электрические измерения», «Микроэлектроника», «Полупроводниковые приборы», «Теоретические основы электротехники», «Электротехнические материалы».

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

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

4 Принципы и особенности построения курса.

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

Дисциплина реализует следующие компетенции.

Тип задачи профессиональной деятельности: монтажно-наладочный					
обеспечение эксплуатации, технического	оборудование контрольно-измерительных	ПК-4. 1 способность подбирать оборудование для сопровождения	З-ПК-4. 1 знать процессы, протекающие в аппаратах	Профессиональный стандарт «24.033. Специалист в области	В/01.6. Обеспечение эксплуатации СИ,
Обслуживания и ремонта оборудования контрольно-измерительных приборов и автоматики в организациях атомной энергетики	Приборов и автоматики	Процессов распределения и защиты в электрических цепях	распределительных устройств, принцип работы и выбора аппаратов распределения и защиты электрических цепей У-ПК-4. 1 уметь определять исправность электрических аппаратов распределения и защиты электрических цепей В-ПК-4. 1 владеть методикой выбора электрических аппаратов распределения и защиты электрических цепей	контрольно-измерительных приборов и автоматики атомной станции»	СА и аппаратуры СУЗ на АС

Профессиональный модуль по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» реализует аспекты воспитательной работы

1. Организация научно-практических конференций, круглых столов, встреч с выдающимися учеными и ведущими специалистами отраслей по вопросам тенденций и основных направлений развития полупроводниковой промышленности, научных исследований в области промышленной электроники.
2. Участие в студенческих олимпиадах и конкурсах научных проектов, творческих мероприятиях, конкурсах профессионального мастерства, в том числе по стандартам WorldSkills.
3. Участие в подготовке научных публикаций

- Формирование ответственности и аккуратности в работе с опасными веществами и при требованиях к нормам безопасности жизнедеятельности в отраслях промышленной электроники **(B28)**
- Формирование коммуникативных навыков в области разработки и производства устройств с полупроводниковыми компонентами **(B29)**

1. Использование воспитательного потенциала профильной дисциплины «Учебно-исследовательская работа» и иных профильных дисциплин профессионального модуля для:
- формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании предприятий отраслевой промышленности посредством привлечения действующих специалистов к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у студентов практических работ в этих организациях, через выполнение студентами практических и лабораторных работ, в том числе с использованием измерительного и технологического оборудования на кафедрах, в лабораториях НТИ НИЯУ МИФИ;

2. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин
Общепрофессионального и профессионального модуля, для:
- формирования профессиональной коммуникации в научной среде;
- формирования разностороннего мышления и тренировки готовности к работе в профессиональной и социальной средах
формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистам профильной подготовки через организацию практикумов на площадках профильных предприятий, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного выполнения учебных заданий и защиту их результатов.

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 различных заземлениях нейтрали.

При выполнении лабораторнопрактических 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.

5 Цели и задачи курса.

Основной целью курса является ознакомление студентов с конструкцией, работой и методами диагностики электрическими и электронными аппаратами, используемыми в промышленности.

Студент должен знать:

- 5.1 принципы расчёта электрических аппаратов;
- 5.2 конструкции электрических и электронных аппаратов;
- 5.3 процессы, происходящие в электрическом аппарате;
- 5.4 методы диагностики электрических аппаратов для определения его работоспособности.

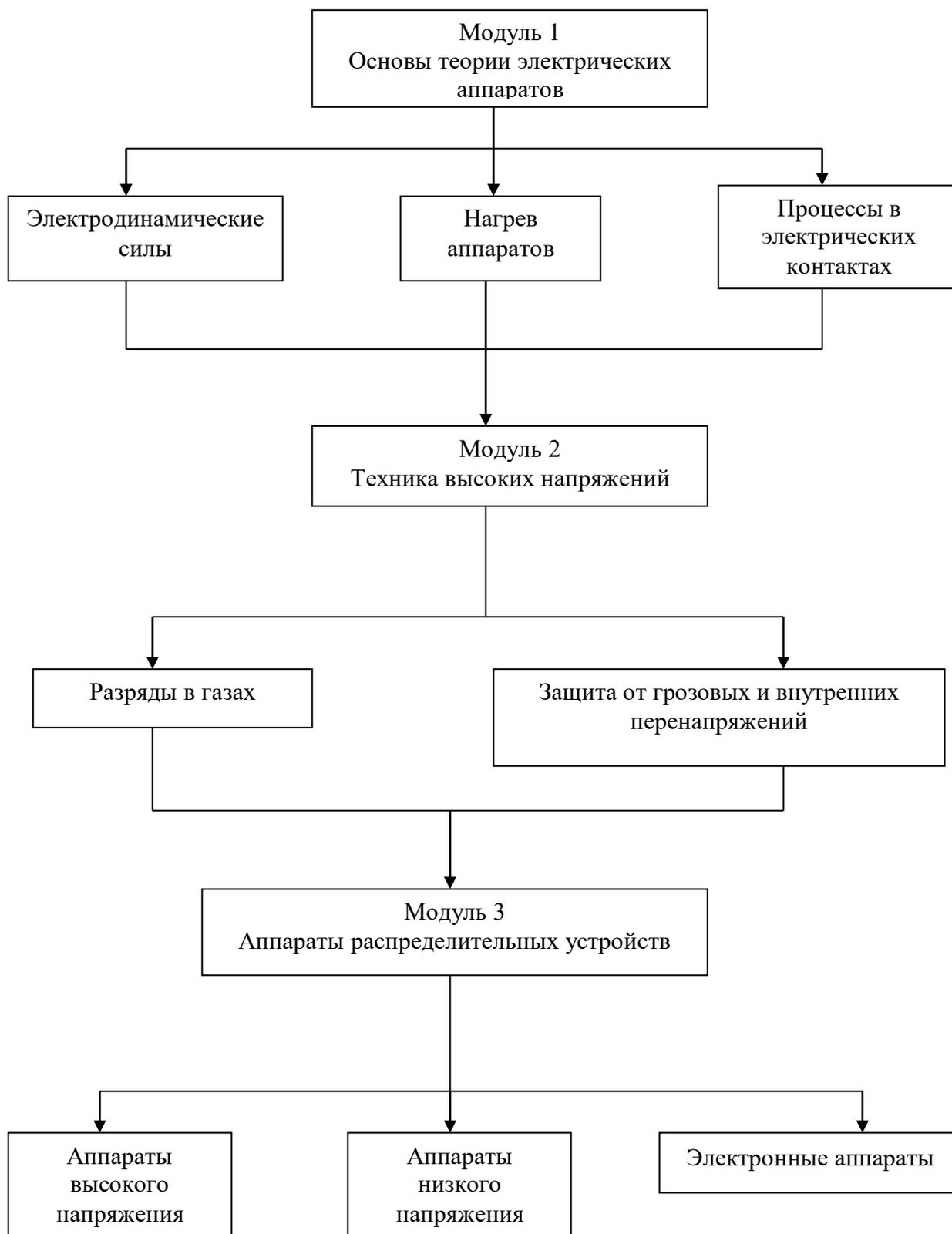
Студент должен уметь:

- 5.5 произвести расчёт электрического аппарата;
- 5.6 произвести выбор аппарата для конкретной электроустановки;
- 5.7 произвести диагностику аппарата и дать по результатам обследования рекомендации для дальнейшего использования оборудования.

Студент должен быть ознакомлен:

- 5.8 с современными образцами электрических аппаратов и перспективными направлениями аппаратостроения.

6 Структура курса



7 Содержание курса

7.1 Лекционные и лабораторные занятия

Таблица 1

Ссылка на цели курса	Неделя	Часы	Темы лекционных занятий (38 часов)
1	2	3	4
5.1,5.5	1	1	Электродинамические усилия. Методы расчёта.
5.3	2	1	Электродинамические усилия в месте изменения сечения проводника и при наличии ферромагнитных частей. Механический резонанс.
5.3	3	1	Активные потери энергии в аппаратах. Способы передачи тепла внутри нагретых тел.
5.3	4	1	Установившийся процесс нагрева. Нагрев аппарата в переходных режимах и при коротком замыкании.
5.1,5.3	5	1	Термическая стойкость аппарата. Тепловой расчёт элементов аппарата.
5.2,5.6	6	1	Электрические контакты. Режимы работы контактов. Конструкция контактов.
5.3	7	1	Разряды в газах.
5.3,5.4	8	1	Грозовые перенапряжения. Защита от грозовых перенапряжений.
5.3,5.4	9	1	Внутренние перенапряжения. Способы ограничения внутренних перенапряжений.
5.4	10	1	Методы гашения электрической дуги.
5.2	11	1	Дугогасительные устройства. Конструкция.
5.6	12	1	Предохранители. Выбор предохранителя.
5.6	13	1	Выключатели высокого и низкого напряжения.
5.6	14	1	Трансформатор тока. Назначение. Выбор.
5.1,5.2	15	1	Ограничители перенапряжений. Разрядники.
5.1,5.2	16	1	Релейная защита. Аппараты на основе реле.
5.3	17	1	Магнитные цепи.
5.2	18	1	Электромагниты и аппараты на их основе.
5.8	18	1	Электронные аппараты высокого и низкого напряжения.
Практические работы (18 часов)			
5.2,	9	3	Типовые задачи по расчёту ЭДУ
5.6	10	3	Электрические контакты. Переходные сопротивления.
5.1,5.2, 5.6	11	3	Термостойкость устройств. Типовые задачи.
	12	3	Типовые задачи выбора электромагнитных реле контроля тока и напряжения.
5.6	13	3	Расчет и выбор ОПН
5.6	14	3	Расчет системы заземления

8 Самостоятельная работа студентов (36 часов).

Вид самостоятельной работы студента	Норма времени	Срок выдачи	Срок сдачи
Подготовка к выполнению, изучение материала по теме практической работы	12 часов	апрель	май
Типовые задачи по расчету ЭДУ	2 часа	апрель	май
Электрические контакты. Переходные сопротивления.	2 часа	апрель	май
Термостойкость устройств. Типовые задачи.	2 часа	апрель	май
Типовые задачи выбора электромагнитных реле контроля тока и напряжения.	2 часа	апрель	май
Расчет и выбор ОПН	2 часа	апрель	май
Расчет системы заземления	2 часа	апрель	май
Выполнение и оформление домашних заданий	12 часа	апрель	май
Изучение методики выбора предохранителей для электрооборудования	6 час	март	май
Изучение методики расчёта зон защиты отдельно стоящих молниеотводов для защиты наземных объектов	6 час	апрель	май
Подготовка к зачету	12 часов	июнь	июнь

9 Итоговый контроль по дисциплине

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

Для получения зачета необходимо:

- правильно ответить на контрольные вопросы, которые приведены ниже;
- выполнить и в соответствующем порядке оформить отчеты по всем лабораторным работам;
- выполнить и в соответствующем порядке оформить все домашние задания.

10 Список вопросов к зачёту

- 10.1 Электродинамические усилия в электрических аппаратах. Методы расчёта.
- 10.2 Нагрев электрических аппаратов.
- 10.3 Физико-химические процессы в электрических контактах.
- 10.4 Разряды в газах. Электрическая дуга.
- 10.5 Молния. Защита от грозовых перенапряжений.
- 10.6 Методы гашения электрической дуги. Дугогасительные устройства.
- 10.7 Предохранители. Конструкция. Выбор.
- 10.8 Электромагнитное реле. Конструкция.
- 10.9 Способы регулирования тока срабатывания электромагнитного реле тока.
- 10.10 Трансформатор тока. Конструкция. Выбор.
- 10.11 Электронные аппараты. Тиристоры. Транзисторы.
- 10.12 Магнитные цепи. Электромагниты.

11 ФОС по дисциплине

Тема «электрические контакты аппаратов»

Типовая задача 1

Определить сопротивление контакта, радиус площадки соприкосновения.

Исходные данные:

сила сжатия контактов из меди составляет $P = 5 \text{ Н}$. Температура площадки соприкосновения достигает 150°С . удельное сопротивление меди при 0°С – $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, температурный коэффициент удельного сопротивления – $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$.

Решение

Ответ на первый вопрос этой задачи получим, используя соотношение $R_k = K_0 / (0,102P)^b$.

Принимая для меди значение $K_0 = 400$, а показатель $b = 0,5$ найдем

$$R_k = 400 / (0,102 \cdot 5)^{0,5} = 560 \text{ мкОм}.$$

Расчет радиуса (а-радиус) площадки соприкосновения при сопротивлении контакта 560 мкОм и при температуре 150°С можно осуществить, пользуясь формулой Хольма:

$$R_c = \frac{\rho}{2a} \rightarrow a = \frac{\rho}{2R_c}$$

Однако сначала следует найти удельное сопротивление меди при заданной температуре.

$\Delta t = 150^\circ\text{C}$, удельное сопротивление меди равно $\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t)$

$$\rho = 1,62 \cdot 10^{-8}(1 + 4,3 \cdot 10^{-3}150) = 2,66 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Теперь по формуле Хольма радиус площадки соприкосновения

$$a = \frac{2,66 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 560 \cdot 10^{-6}} = 24 \text{ мкм}$$

Типовая задача 2

определить расстояние, на котором можно пренебречь влиянием контакта на нагрев проводника в медном токопроводе сечения $2 \times 8 \text{ мм}^2$, если коэффициент теплоотдачи с поверхности проводника в окружающее пространство равен $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Решение

Условие, обеспечивающее практическое отсутствие влияния контакта на нагрев в точке проводника, удаленной на расстояние x от контакта, записывается в виде $x \geq \frac{5}{p}$, где характеристический геометрический параметр:

$$p = \sqrt{\frac{k_T \cdot \Pi}{S \cdot \lambda}}$$

В этом параметре S — площадь поперечного сечения проводника;

k_T — коэффициент теплоотдачи с поверхности проводника;

Π — периметр поперечного сечения проводника;

$\lambda = 390 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ — теплопроводность материала проводника.

Теплопроводность меди λ .

Определяем площадь поперечного сечения и периметр

$$S = 2 \cdot 8 = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$\Pi = 2 \cdot (2 + 8) = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Тогда при подстановке всех известных величин определяем характеристический геометрический параметр:

$$p = \sqrt{\frac{10 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-6} \cdot 390}} = 5,7 \frac{1}{\text{м}}$$

Определяем искомое расстояние:

$$x \geq \frac{5}{5,7} = 0,88 \text{ м}$$

Типовая задача 3

Каково должно быть сопротивление контакта из серебра, чтобы при токе 1 кА его контактная площадка не расплавлялась?

Me	Напряжения, В		
	размягчения (U_p)	плавления ($U_{пл}$)	кипения ($U_{кип}$)
Cu	0,12	0,43	0,79
Ag	0,09	0,37	0,67
Pt	0,25	0,65	1,50
W	0,40	1,10	2,10
Au	0,08	0,43	0,90

Решение

Напряжение плавления серебра из справочной таблицы равно 0,37 В. Тогда при токе 1000 А такому падению напряжения соответствует сопротивление (по закону Ома):

$$R_K = \frac{U_{пл}}{I} = \frac{0,37}{1000} = 370 \text{ мкОм и менее.}$$

Выбор выключателя

При выборе модульного автоматического выключателя приходится считаться с тем обстоятельством, что номинальные токи этих выключателей совпадают с уставкой и не подлежат регулировке. Поэтому следует учитывать необходимость выполнения двух условий.

Во-первых, номинальный ток автоматического модульного выключателя должен быть больше номинального тока нагрузки, питаемой защищаемой линией.

Во-вторых, для безусловной защиты кабеля (провода) от перегрузок уставка защиты от перегрузок должна быть не более длительно допустимого тока кабеля.

Типовая задача 1

Необходимо защитить кабель, питающий нагрузку (розетки) с рабочим номинальным током 36 А. Проектировщик выбрал для этого четыре медных провода в поливинилхлоридной изоляции, проложенных в одной трубе с поперечным сечением 10 мм².

Решение

Для этого способа прокладки в соответствии с ПУЭ в соответствующей таблице можно найти, что длительно допустимый ток равен 50 А. Из дискретного ряда номинальных токов модульных автоматических выключателей, выпускаемых, например, фирмой *ABB*, найдем только одно возможное значение номинального тока. Это 40 А. Другие ближайшие значения не подходят: 32 А оказывается менее рабочего тока, а 63 А — больше длительно допустимого тока.

Типовая задача 2

Три медных одножильных провода в трубе питают нагрузку с номинальным рабочим током 26 А. Проектировщик выбрал провода в поливинилхлоридной изоляции с поперечным сечением 3 мм². Такие провода имеют длительно допустимый ток 28 А. Необходимо выбрать модульный автоматический выключатель для защиты такой линии.

Решение

Из дискретного ряда номинальных токов модульных выключателей пробуем выбрать 25 А. Но это значение таково, что выключатель в принципе может отключить сеть при номинальном рабочем токе. Не подходит.

Значит, следует выбрать выключатель с большим номинальным током. В дискретном ряду номинальных токов ближайшее большее значение равно 32 А. Но и это значение не удовлетворяет условиям задачи, так как $32 \text{ А} > 28 \text{ А}$. И следовательно, выключатель с таким номинальным током не защитит от перегрузок провода.

Решение может быть найдено, если применить провода большего поперечного сечения. В частности, достаточно увеличить поперечное сечение до 4 мм^2 . Тогда длительно допустимый ток станет равным 35 А (см. таблицу в ПУЭ) и выключатель с номинальным током 32 А сможет защитить такой провод от перегрузок.

Определение длины защищаемой линии при коротком замыкании

В соответствии с ПУЭ ток КЗ должен отключаться мгновенно. И это правило обязательно необходимо выполнить, в том числе при минимальном возможном токе КЗ. Обычно минимальное значение имеет ток КЗ I_{cc} тогда, когда КЗ происходит в самой удаленной точке защищаемой линии и по схеме однофазного КЗ (т.е. при замыкании одного линейного провода на нейтральный провод). Это означает, что должно быть выполнено условие

$$\max(I_{sd}) \leq \min(I_{ce}).$$

Оценка минимального тока однофазного КЗ может быть выражена приближенно по формуле:

$$\min(I_{cc}) = \frac{\min(U_{ph})}{\max(R_{ph} + R_N)},$$

где $\min(U_{ph})$ — минимальное фазное напряжение, а $\max(R_{ph} + R_N)$ — максимальное значение сопротивления петли тока фаза-нуль. Это сопротивление складывается из сопротивления фазного провода и сопротивления рабочего нулевого провода.

Минимальное напряжение фаза-нуль может отличаться на 20% от номинала и потому

$$\min(U_{ph}) = \frac{0,8U_n}{\sqrt{3}}.$$

Максимальное сопротивление линейного и нейтрального проводов (кабелей) с учетом их длины L и возможно различных поперечных сечений S_{ph} и S_N может быть рассчитано по формуле

$$\max(R_{ph} + R_N) = \rho_0(1 + \alpha\theta) \left(\frac{L}{S_{ph}} + \frac{L}{S_N} \right) = \rho_0(1 + \alpha\theta) \frac{L}{S_{ph}} \left(1 + \frac{S_{ph}}{S_N} \right).$$

В этой формуле учтено, что в процессе КЗ происходит нагрев проводника до температуры θ и его удельное сопротивление может отличаться от ρ_0 . Температурный коэффициент сопротивления α и ρ_0 выбираются в соответствии с видом материала провода.

Если ввести обозначение $m = S_{pv}/S_N$, то окончательно минимум тока КЗ после подстановок окажется равным

$$\min(I_{cc}) = \frac{0,8U_n}{\sqrt{3} \max(R_{ph} + R_N)} = \frac{0,8U_n}{\sqrt{3}\rho_0(1+\alpha\theta)\frac{L}{S_{ph}}(1+m)}.$$

Если вместо минимального тока КЗ подставить значение верхней границы разброса уставки мгновенного расцепления, то можно получить оценку максимальной длины защищаемой линии в виде

$$\max(L) = \frac{0,8U_n S_{ph}}{\sqrt{3}\rho_0(1+\alpha\theta)\max(I_{sd})(1+m)}.$$

Типовая задача 3

Пусть трехфазный потребитель питается по линии, выполненной четырьмя одножильными медными проводами сечением $S_{ph}=10$ мм² с поливинилхлоридной изоляцией. Линия защищена установленным в ее начале модульным автоматическим малогабаритным выключателем. Найти максимальное удаление потребителя от выключателя, при котором еще соблюдается условие защиты при напряжении линии $U_n = 0,4$ кВ.

Решение

1. По таблице ПУЭ [5] (табл. 1.3.4) длительно допустимый ток линии $I_{дл доп} = 50$ А. Выбираем автоматический выключатель на номинальный ток $I_n = 40$ А с защитной характеристикой типа С.
2. Для характеристики срабатывания выключателей типа С максимальная кратность уставки мгновенного расцепления равна 10 и поэтому максимальное значение уставки мгновенного расцепления равно

$$\max(I_{sd}) = 10I_n = 10 \cdot 40 = 400 \text{ (А)}.$$

3. В качестве максимальной температуры, достигаемой кабелем или проводом при коротком замыкании, обычно принимают температуру 150°C . Тогда, согласно работе [6], приняв значение удельного сопротивления меди при 0°C $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м и температурный коэффициент удельного сопротивления $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3}$ 1/К, получим

$$\rho_0(1 + \alpha\theta) = 1,62 \cdot 10^{-8} (1 + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 150) = 2,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

4. При равных сечениях линейного и рабочего нейтрального проводов ($1 + 7/4 = 2$).

Теперь в соответствии с полученной выше формулой найдем

$$\max(L) = \frac{0,8U_n S_{Ph}}{\sqrt{3}\rho_0(1 + \alpha\theta)\max(I_{sd})(1 + m)} = \frac{0,8 \cdot 400 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3} \cdot 2,67 \cdot 10^{-8} \cdot 400 \cdot 2} = 87 \text{ (м)}.$$

На практике порой приходится решать обратную задачу: заданы параметры линии (поперечное сечение и длина) и необходимо выбрать автоматический выключатель, который защитит линию при минимальном токе КЗ.

Приведенная выше формула позволяет рассчитать минимальный ток КЗ. Особое внимание при выборе выключателя, у которого верхняя граница разброса уставки мгновенного расцепления будет меньше рассчитанного значения минимума тока КЗ, следует обратить на вид нагрузки. В частности, если в конце линии установлен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, требуется учесть еще одно условие: нижняя граница уставки мгновенного расцепления должна быть выше, чем значение ударного пускового тока применяемого двигателя. Таким образом, выбор автоматического выключателя может существенно зависеть от вида нагрузки.

Типовая задача 4

Суммарный ток нагрузки трех однофазных электроприемников равен 8 А. Для каждого электроприемника допускается в эксплуатации снижение сопротивления изоляции до 100 кОм. Длительный допустимый ток питающего кабеля составляет 16 А. Для защиты кабеля от сверхтоков применен АВ, а для защиты человека от поражения электрическим током — УЗО.

На какой номинальный ток должны быть выбраны АВ и УЗО? Какую уставку дифференциального тока должно иметь УЗО, чтобы не срабатывать при исправном состоянии электроприемников и в то же время выполнять свою функцию?

Решение

Номинальный ток автоматического выключателя должен находиться внутри диапазона, ограниченного, с одной стороны, рабочим током нагрузки т.е. 8 А, а с другой — длительно допустимым током питающего кабеля, т.е. 16 А. Это условие будет выполнено, если применить автоматический выключатель с номинальным током 10 А. Номинальный ток УЗО должен быть выбран из условия, что при токах перегрузки он должен быть защищен автоматическим выключателем, как и кабель. Это условие безусловно выполняется при выборе УЗО с номинальным током 16 А. Однако, в частном случае допустимо применение УЗО и с номинальным током 10 А, если УЗО выполнено на базе выключателя той же фирмы, что и автоматический выключатель, поскольку защитная характеристика последнего согласована с его перегрузочной способностью.

Согласно условию задачи эквивалентное сопротивление изоляции трех электроприемников, включенных параллельно, может снизиться в исправной электроустановке до 33,3 кОм. В этом

случае при напряжении 220 В ток утечки будет равен $220/33,3 = 6,6$ мА. Дифференциальный ток несрабатывания УЗО составляет 50% тока срабатывания (уставки) УЗО. При выборе УЗО с уставкой 10 мА возможны ложные срабатывания при возникновении тока утечки более 5 мА. Поэтому для исключения ложных срабатываний необходимо выбрать УЗО с уставкой 30 мА. При этом согласно существующим правилам УЗО с чувствительностью 30 мА гарантированно защищает человека от поражения электрическим током.

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

Дата проведения _____

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

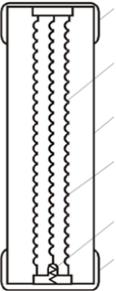
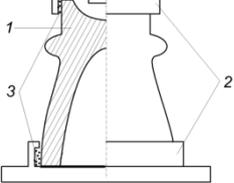
Максимум по части «А» - 15 баллов. Максимум по части «Б» - 5+10 баллов.

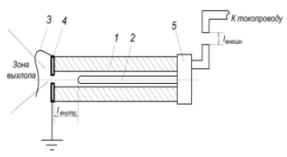
Результаты текущего и итогового контроля студента

Текущий контроль	Экзаменационный контроль	Итоговый контроль
_____ баллов	_____ баллов	_____ баллов

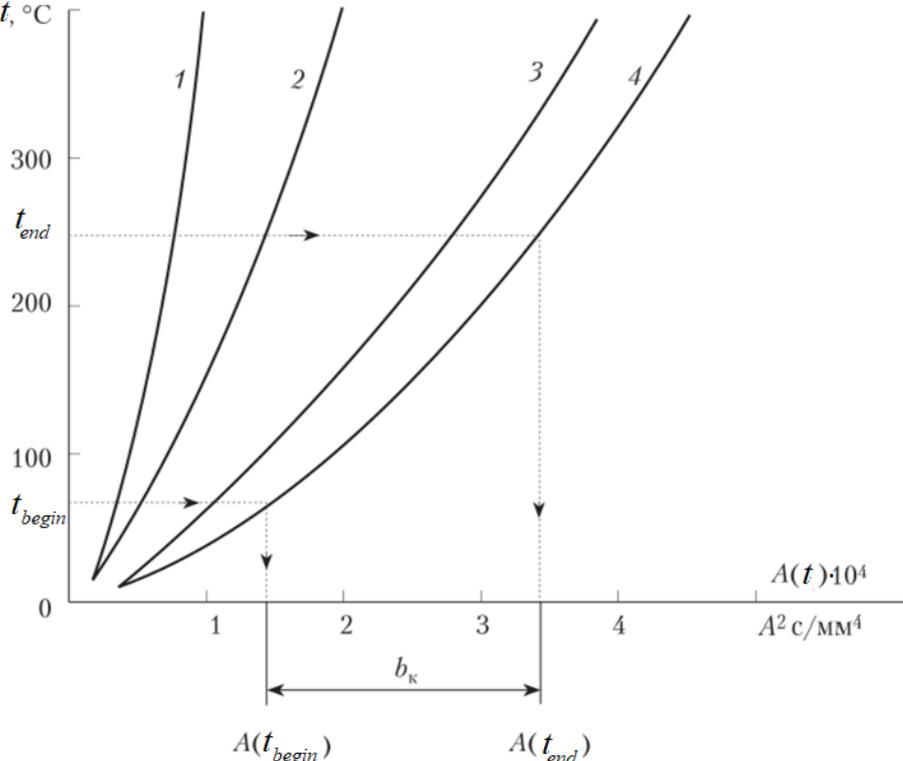
Часть А. Определяет знания, сформированные в процессе изучения дисциплины

№ 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	
		Электромеханический предохранитель	
		кварцевый плавкий предохранитель	
8	Какой тип изолятора представлен на рисунке? 	опорный	
		опорно-штыревой	
		опорно-стержневая колонка	
9	Выберите основные характеристики перенапряжений.	Номинальное напряжение, класс перенапряжений, длительность перенапряжения, причина перенапряжения, логистические характеристики.	
		номинальный уровень, прохождение которого допустимо в течение неограниченно длительного времени, номинальное напряжение $U_{ном}$, предельный отключаемый ток уровень, коэффициент гашения, коэффициент защиты.	
		Максимальное напряжение, кратность перенапряжений, длительность перенапряжения, форма перенапряжения, статистические характеристики.	

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.	
		Применяют полимерные изоляторы, которые хорошо отталкивают воду и загрязнения.	
		Применяют специальные типы включения изоляторов	
		Чаще проводят ППР токоведущих частей.	
11	Причины возникновения внутренних перенапряжений?	плановые, аварийные стационарные	
		индуктированные связи с внешним магнитным полем	
		Ёмкостные связи с внешним электрическим полем	
12	Какое устройство представлено на схеме? 	Трубчатый разрядник	
		Вентильный ограничитель	
		Длинноискровый предохранитель	
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	Основные параметры ограничителей перенапряжения (1...8)		
2	<p>Определить минимальное допустимое поперечное сечение шины автоматического выключателя с наибольшим кратковременным допустимым током 40 кА при нормированном времени термической стойкости- 1 сек. В режиме перегрузок допустимая температура / кратковременная перегрузка изолированной шины:</p> <p>1- медь, 100⁰С/300⁰ С. 2- латунь, 150⁰С/250⁰ С. 3- алюминий. 100⁰С/300⁰ С 4- медь, 90⁰С/300⁰ С. 5- серебро, 100⁰С/250⁰ С. 6- серебро, 100⁰С/300⁰ С. 7- медь, 150⁰С/200⁰ С. 8- алюминий. 90⁰С/300⁰ С</p>	 <p style="text-align: center;">Рисунок 1. Кривые адиабатического нагрева для 1-латуни, 2-алюминия, 3-серебра, 4- меди.</p>	

Подробно материалы для текущего и итогового контроля по дисциплине представлены на кафедре промышленной электроники.

12 Учебно-методические материалы по дисциплине.

12.1 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 УМОИ. П.

12.2 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

Дополнения и изменения в рабочей программе по курсу «Электрические и электронные аппараты»

На 20.../20... уч.год

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры

«__» _____ 20 г.

Зав. кафедрой ПЭ

Г.С.Зиновьев

Внесенные изменения утверждаю:

Проректор

Г.С.Зиновьев

«__» _____ 20 г.

Программа действительна:

на 200__ /200__ уч.год _____ (зав. кафедрой ПЭ)

на 200__ /200__ уч.год _____ (зав. кафедрой ПЭ)