

минобрнауки РФ  
федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
"ПРИАМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШОЛОМ-АЛЕЙХЕМА

кафедра технических дисциплин

Методические указания для выполнения курсового проекта  
по дисциплине "Электрические и электронные аппараты"

Биробиджан 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....	4
2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ .....	5
Часть 1. Основы теории электрических аппаратов (5(8) семестр) .....	5
Тема 1. Общие сведения об электрических аппаратах .....	5
Тема 2. Электрические контакты .....	6
Тема 3. Электрическая дуга и ее гашение .....	8
Тема 4. Нагрев и охлаждение электрических аппаратов .....	10
Тема 5. Электродинамические силы .....	13
Тема 6. Магнитные цепи и электромагнитные механизмы .....	15
Часть 2. Электрические аппараты систем автоматики, управления и энергетики (5(8) семестры) .....	21
Тема 7. Электрические аппараты управления и распределительных устройств низкого напряжения .....	21
Тема 8. Реле и датчики .....	23
Тема 9. Электрические аппараты высокого напряжения .....	25
Тема 10. Электронные аппараты .....	27
Часть 3. Вопросы проектирования электрических аппаратов (6(9) семестр) .....	29
Тема 11. Общие вопросы проектирования электрических аппаратов .....	29
Тема 12. Проектирование узлов электрических аппаратов .....	30
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ .....	32
6 (9) семестр (4 часа) .....	32
4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ .....	33
5. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	35
5.1. Цели курсового проектирования .....	35
5.2. Тематика курсового проектирования .....	35
5.3. Содержание пояснительной записки курсового проекта .....	36
6. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ .....	37
6.1. Вопросы для подготовки к экзамену .....	37
6.2. Образец экзаменационного билета .....	39
7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	41
7.1. Основная литература .....	41
7.2. Дополнительная литература .....	41
7.3. Интернет-ресурсы .....	42
Приложение I .....	43
Приложение II .....	44

## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Основной целью изучения дисциплины является

– формирование компетентности в области электрических и электронных аппаратов автоматики, управления и энергосистем;

– овладение знаниями основ теории, конструкций и принципов действия основных видов электрических аппаратов, особенностей их применения и эксплуатационных характеристик.

Достижение цели позволит успешно решать теоретические и практические задачи в профессиональной деятельности, связанной с разработкой, производством, испытаниями и эксплуатацией электрических и электронных аппаратов.

*Пререквизитами* данной дисциплины являются: «Математика», «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Физические основы электроники», «Электротехническое материаловедение», «Инженерная и компьютерная графика».

*Кореквизитами* – «Электрические машины», «Электронная и микропроцессорная техника».

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ЧАСТЬ 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (5(8) СЕМЕСТР)**

#### **Тема 1. Общие сведения об электрических аппаратах**

Определение электрического аппарата (ЭА); функции и классификация электрических аппаратов; условные обозначения электрических аппаратов и их элементов; исполнения, категории размещения, режимы работы электрических аппаратов.

Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.

**Рекомендуемая литература:** [1, 5, 10].

#### **Методические указания**

При изучении материала темы следует обратить внимание на классификацию электрических аппаратов по различным основаниям (назначение, область применения, способ действия, величина напряжения); ознакомиться с примерами использования электрических аппаратов в различных схемах; уяснить такие основные требования к электрическим аппаратам, как термическая и электродинамическая стойкость, коммутационная и механическая износостойкость, надежность, быстрдействие, технологичность и удобство в обслуживании.

#### **Вопросы и задания**

1. Что называется электрическим аппаратом?
2. Какие функции выполняют ЭА?
3. В чем состоит классификация ЭА по назначению?
4. Как классифицируются ЭА по области применения?
5. Какие ЭА относятся к аппаратам управления, а какие – к аппаратам распределительных устройств?
6. Назовите электрические аппараты, выполняющие контролирующие функции, и охарактеризуйте их.
7. Приведите примеры электрических аппаратов, выполняющих функцию защиты, и дайте им краткую характеристику.
8. Какие ЭА выполняют функцию преобразования? Охарактеризуйте их.
9. Какую функцию выполняет реактор? Опишите его конструкцию.
10. Для чего предназначен реостат? Какую функцию он выполняет? Какие реостаты вы знаете?

11. Может ли один аппарат выполнять несколько функций? Приведите примеры.
12. Приведите пример схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором с использованием ЭА.
13. Приведите пример схемы управления электрической машиной постоянного тока с использованием ЭА.
14. Что такое коммутация? Какие виды коммутаций существуют? Приведите примеры аппаратов, выполняющих эти виды коммутации.
15. Какие физические явления имеют место в ЭА?
16. В чем заключается электромагнитный принцип действия ЭА? Перечислите аппараты, основанные на этом принципе действия.
17. На каком принципе действия основана работа электромеханического счетчика электроэнергии?
18. На каком принципе действия основана работа терморегулятора в электрическом утюге и чайнике?
19. Назовите основные технические параметры ЭА.
20. Какие существуют климатические исполнения ЭА?
21. Какие имеются категории размещения аппаратов?
22. Назовите исполнения ЭА по степени защиты.
23. Перечислите и поясните общие требования, предъявляемые к ЭА.
24. Перечислите и поясните специфические требования, предъявляемые к ЭА.
25. Какие сведения об ЭА указываются в его обозначении?

## **Тема 2. Электрические контакты**

Понятие контакта и контактного сопротивления; классификация контактов по функциональному назначению, конструктивному исполнению, количеству контактных точек. Расчетные модели контактов.

Режимы работы контактов (разомкнутое состояние, замыкание, замкнутое состояние, размыкание). Сваривание контактов, вибрация (дребезг) при замыкании, коррозия, эрозия, дуговой износ.

**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

### **Методические указания**

При изучении материала темы следует усвоить условия выбора контактного нажатия; изучить модели и формулы для определения сопротивления стягивания, температуры контактов и тока сваривания. Необходимо обратить особое внимание на факторы, влияющие на величину контактного сопротивления, а также на способы предотвращения

или уменьшения вредных последствий влияния на контакты окружающей среды, вибрации, эрозии и дугового износа.

### Вопросы и задания

1. Между двумя плоскими медными шинами находятся два медных шарика с радиусом  $r = 10$  мм. Шины стянуты силой  $F = 200$  Н. Определить величину сопротивления стягивания.

2. Контакты реле выполнены в виде напаяк серебром, радиус их кривизны  $r = 5$  мм. Определить величину сопротивления стягивания этих контактов, если сила контактного нажатия  $F = 10^{-2}$  Н.

3. Определить величину контактного сопротивления розеточного контакта выключателя, если розетка состоит из шести самоустанавливающихся ламелей, а сила, прижимающая ламель к контактному стержню,  $F = 50$  Н. Материал розетки и стержня – медь. Использовать эмпирическую формулу.

4. Определить величину контактного нажатия пакетно-пластинчатого контакта пускового реостата, если контактное сопротивление  $R = 10^{-5}$  Ом, материал контактов – медь.

5. Определить требуемую с точки зрения сваривания величину контактного нажатия медного щеточного контакта пускового реостата, если максимальное значение амплитуды ударного тока короткого замыкания  $I_{уд} = 10$  кА.

6. Перечислите наиболее распространенные материалы, применяемые для изготовления коммутирующих контактов, укажите их достоинства и недостатки.

7. Что такое раствор и провал коммутирующих контактов, как создаются и как влияют на качество контактов силы начального и конечного нажатий?

8. Приведите графическую и аналитическую зависимости переходного сопротивления контакта от силы нажатия и объясните их.

9. Что такое напряжение размягчения и напряжение плавления? Каким образом обеспечивается допустимое падение напряжения на контакте?

10. Из каких составляющих складывается температура контактной точки?

11. Опишите режимы работы коммутирующих контактов и укажите факторы, отрицательно влияющие на работу контактов в этих режимах.

12. Какие факторы могут вызвать сваривание контактов?

13. Что такое электрическая эрозия и дуговой износ контактов? От чего они зависят?

14. Как возникает вибрация (дребезг) при замыкании контактов и к каким последствиям это приводит? Укажите способы снижения вибрации.

15. В каких аппаратах и для чего применяется двухступенчатая контактная система?

16. Какие процессы происходят в межконтактном промежутке в режиме замыкания контактов?

17. Приведите классификацию контактов.

18. Какие процессы происходят в контакте в режиме замкнутого состояния при длительном номинальном токе?

19. Охарактеризуйте способы уменьшения переходного сопротивления контакта.

20. Что такое переходное сопротивление контакта? Чем оно обусловлено?

21. Как рассчитать переходное сопротивление при пластической и упругой деформации контакт-деталей?

22. Как определить допустимый ток, если известно переходное сопротивление и материал контактов?

23. Какими процессами и в какой последовательности сопровождается размыкание контактов?

24. Дайте краткую характеристику материалов, применяемых для изготовления размыкаемых контактов.

25. Опишите конструкции наиболее распространенных контактов.

### **Тема 3. Электрическая дуга и ее гашение**

Условия возникновения и гашения дуги; физические процессы у поверхностей катода, анода и в столбе дуги.

Вольтамперная характеристика и условия гашения дуги на постоянном и переменном токе. Способы гашения дуги и дугогасительные устройства электрических аппаратов.

**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

#### **Методические указания**

При изучении материала темы следует уяснить положительную роль дуги при размыкании контактов и ее вредное воздействие на детали аппарата, в первую очередь на контакты; усвоить понятия восстанавливающегося напряжения и восстанавливающейся прочности и факторы, влияющие на вид вольтамперных характеристик дуги.

С помощью приводимых в литературе графиков и формул необходимо уяснить характер процесса гашения дуги и его зависимость от параметров цепи.

### Вопросы и задания

1. Какие процессы протекают в околоэлектродных областях дуги?
2. Что такое термическая ионизация, рекомбинация и диффузия?
3. В чем состоят условия устойчивого горения и гашения дуги постоянного тока?
4. Что такое критическая длина и критический ток дуги?
5. От чего зависят перенапряжение при отключении постоянного тока и время гашения дуги?
6. Определить энергию, поглощенную дугой постоянного тока при её гашении, если напряжение источника  $U = 200$  В, сопротивление  $R = 1,5$  Ом, индуктивность  $L = 80$  мГн, время угасания дуги  $t_d = 0,09$  с, спад тока имеет прямолинейный характер.
7. Общее количество энергии, поглощенное дугой за один цикл отключения,  $A_d = 3000$  Дж. Определить, какое количество энергии потребляется из сети за время одного отключения, если начальный отключаемый ток  $I = 200$  А, индуктивность цепи  $L = 80$  мГн.
8. Определить полное время угасания дуги постоянного тока, если напряжение на дуге  $U_d = 250$  В в зависимости от тока остается постоянным, напряжение источника  $U = 200$  В, сопротивление  $R = 1$  Ом, индуктивность  $L = 15$  мГн.
9. Определить критическую длину дуги и ее критический ток, если сопротивление цепи  $R = 1,5$  Ом, напряжение источника  $U = 600$  В. Вольтамперная характеристика дуги описывается уравнением  $U_d = Ci^{-a}l$ , где  $C = 90$ ,  $a = 0,4$ .
10. Определить число стальных пластин дугогасительной камеры, если начальное пробивное напряжение единичного промежутка  $U_{пр1} = 120$  В, напряжение восстанавливается с частотой  $f_0 = 5000$  Гц, коэффициент превышения амплитуды восстанавливающегося напряжения  $K = 1,6$ . Рабочее возвращающееся напряжение  $U_p = 600$  В.  
Известно также, что за 50 мкс пробивное напряжение единичного промежутка достигает двойной по сравнению с начальной величины.
11. Как протекает процесс отключения активной нагрузки переменного тока? Нарисуйте графики изменения тока и напряжения в цепи.



12. Как изменяются ток и напряжение при отключении индуктивной нагрузки переменного тока?

13. От чего зависят скорости нарастания пробивной прочности и восстанавливающегося напряжения при гашении дуги переменного тока? Как они влияют на условия ее гашения?

14. От чего зависит начальная восстанавливающаяся прочность дугового промежутка? Как она влияет на гашение коротких дуг переменного тока?

15. В чем заключается способ гашения дуги воздействием магнитного поля?

16. Нарисуйте схему замещения электрической цепи постоянного тока, коммутируемой контактами аппарата. Составьте для нее уравнение равновесия напряжений.

17. Изобразите графическую интерпретацию уравнения равновесия напряжений для коммутируемой цепи постоянного тока. Покажите на графике точки устойчивого горения дуги и запишите для них уравнения равновесия напряжений.

18. Какие способы существуют для исключения точки устойчивого горения дуги постоянного тока? Как они реализованы в дугогасительных устройствах?

19. Объясните принцип действия магнитного дутья. Как он реализуется в дугогасительных устройствах?

20. Объясните принцип действия дугогасительной решетки и назовите области ее применения.

21. Чем обусловлена бестоковая пауза при коммутации цепей переменного тока? От чего зависит ее длительность?

22. Поясните принцип гашения электрической дуги в засыпном предохранителе.

23. Изобразите и поясните схему устройства для бездуговой коммутации.

24. Сформулируйте условие гашения дуги переменного тока.

25. Почему применение дугогасительной решетки более эффективно на переменном токе в сравнении с постоянным током?

#### **Тема 4. Нагрев и охлаждение электрических аппаратов**

Допустимые температуры электрических аппаратов в нормальных и аварийных режимах.

Источники тепла в электрических аппаратах; виды теплообмена. Задачи и методы тепловых расчетов. Режимы нагрева и термическая стойкость электрических аппаратов.

**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

### **Методические указания**

При изучении темы следует ознакомиться с нормами нагрева аппаратов, уяснив разницу между допустимой температурой и допустимым превышением температуры, изучить способы передачи тепла и определения потерь.

Необходимо усвоить понятия: *коэффициент теплоотдачи, тепловая постоянная времени, допустимый эквивалентный ток, ток и время термической устойчивости*, и методы расчета этих величин; изучить особенности длительного, кратковременного, повторно-кратковременного тепловых режимов.

### **Вопросы и задания**

1. Какие существуют классы нагревостойкости изоляции? Приведите примеры допустимых превышений температуры для различных частей аппаратов при нормальной работе и коротком замыкании.

2. Что такое поверхностный эффект и эффект близости? Как учитывается их влияние на потери в проводниках?

3. Как определяются тепловое сопротивление плоской стенки и температурный перепад в ней?

4. Что такое коэффициент теплоотдачи, какова его размерность и величина для различных частей аппаратов при естественном охлаждении?

5. Как определяется необходимое сечение проводника по условию допустимого нагрева при протекании номинального тока?

6. Какими факторами определяется температура нагрева катушки? Поясните характер распределения температуры в сечении катушки.

7. С помощью кривых нагрева и охлаждения аппарата объясните, что такое установившееся превышение температуры и тепловая постоянная времени. Приведите их формулы.

8. Что такое допустимый, эквивалентный по нагреву, ток кратковременного и повторно-кратковременного режимов работы? От чего он зависит и в каких расчетах применяется?

9. В чем заключается сущность теории нагрева проводников током короткого замыкания? Как определить температуру проводника с помощью кривых адиабатного нагрева по заданным условиям короткого замыкания?

10. Что такое ток и время термической устойчивости? Какая зависимость существует между ними?

11. Определить коэффициент поверхностного эффекта и мощность потерь в одном метре длины круглого шинпровода диаметром

$d = 45$  мм, по которому протекает переменный ток  $I = 2400$  А промышленной частоты. Решить задачу для случаев, когда шинопровод выполнен из меди и алюминия.

12. Определить мощность потерь в одном метре длины медного шинопровода распределительного устройства, по которому протекает ток  $I = 840$  А, если шинопровод нагрет до температуры  $\theta = 90$  °С, его диаметр  $d = 20$  мм.

13. Рассчитать значение установившейся температуры круглого медного проводника, окрашенного краской, расположенного в спокойном воздухе, температура которого  $\theta_0 = 35$  °С; по проводнику диаметром  $d = 45$  мм протекает постоянный ток  $I = 2500$  А.

14. Определить допустимую величину переменного тока круглой медной шины диаметром  $d = 40$  мм, установленной горизонтально в спокойном воздухе, температура которого  $\theta_0 = 35$  °С, если частота тока  $f = 50$  Гц, а допустимая температура поверхности шины  $\theta_{\text{доп}} = 85$  °С.

15. Написать уравнение кривой охлаждения медного проводника диаметром  $d = 10$  мм, по которому в течение 40 минут протекал постоянный ток  $I = 400$  А, если коэффициент отдачи с поверхности проводника  $k_{\text{то}} = 10$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С), температура окружающей среды, которой является спокойный воздух,  $\theta_0 = 35$  °С. Значение удельного сопротивления меди за время нарастания температуры  $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$  Ом · м.

16. Запишите уравнение теплового баланса и охарактеризуйте его составляющие.

17. Перечислите источники тепла в электрических аппаратах кинематической и статической коммутации.

18. Чем характеризуется процесс нагрева проводника с током в переходном режиме? Приведите формулу зависимости температуры нагрева проводника от времени.

19. Запишите уравнение теплового баланса для процесса короткого замыкания и определите зависимость температуры нагрева проводника во времени.

20. Что такое квазистационарный режим работы? Чем он характеризуется?

21. Что такое коэффициент перегрузки по току? Приведите формулы для расчета коэффициентов перегрузки по току в кратковременном и повторно-кратковременном режимах.

22. Перечислите виды передачи тепла нагретым телом, охарактеризуйте их и приведите формулы для расчета количества тепла, отдаваемого телом, за счет каждого вида.

23. Запишите уравнение теплового баланса для процесса охлаждения проводника. Приведите решение этого уравнения.

24. Чем определяется продолжительность процесса короткого замыкания? Какими факторами ограничивается температура нагрева проводника при коротком замыкании?

25. Как зависит сопротивление проводника от температуры? Приведите формулу.

### Тема 5. Электродинамические силы

Понятие, методы расчета и способы определения направлений действия электродинамических сил (усилий – ЭДУ).

Расчет электродинамических сил между проводниками, между контактами, между проводником и ферромагнитным телом; ЭДУ в витке, катушке, между витками и катушками на постоянном и переменном токе.

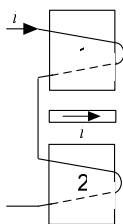
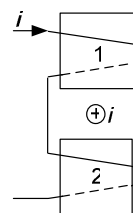
**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

#### Методические указания

При изучении темы следует ознакомиться с моделями определения ЭДУ для различных случаев расположения и форм токоведущих частей электрических аппаратов; научиться определять направление действия сил. Необходимо обратить внимание на характер изменения во времени и величину пиковых значений электродинамических сил в однофазной и 3-фазной системах переменного тока.

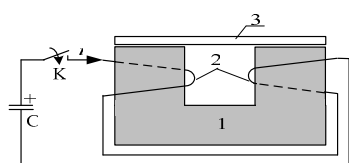
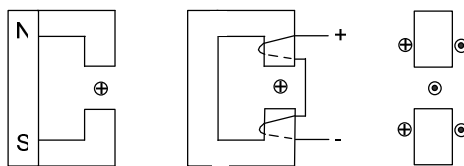
#### Вопросы и задания

1. Определите направление действия ЭДУ на проводник с током, находящийся между полюсами электромагнита. Направление токов в проводнике и в катушке электромагнита показано на рисунке.



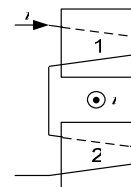
2. Покажите направление магнитных силовых линий поля между полюсами; обозначьте полярность полюсов электромагнитов; определите направление действия ЭДУ на проводник с током, расположенный между полюсами.

3. Определите направление действия ЭДУ на проводник с током, находящийся между полюсами электромагнита. Направление токов в проводнике и в катушке электромагнита показано на рисунке.



4. Как отреагирует деталь 3 (см. рисунок), свободно лежащая на полюсах электромагнита 1, если в катушку 2 подать импульс тока путем разряда конденсатора С через замкнутый ключ К в случае, если деталь 3 выполнена: из стали, из меди, из пластмассы? Обоснуйте ответы.

5. Определите направление действия ЭДУ на проводник с током, находящийся между полюсами электромагнита. Направление токов в проводнике и в катушке электромагнита показано на рисунке.



6. Чем отличаются выражения для ЭДУ между параллельными проводниками бесконечной и конечной длины?

7. Как влияет форма сечения проводников на величину ЭДУ?

8. Чем обусловлена сила отталкивания контактов, и к каким вредным последствиям она может привести?

9. Как рассчитываются ЭДУ в круговом витке и между витками?

10. Объясните причину возникновения электродинамической силы между проводником с током и ферромагнитным телом. Приведите пример ее использования в электрическом аппарате.

11. Сравните максимальные значения сил, действующих в однофазной системе и на различные фазы в трехфазной системе при наличии и отсутствии апериодической составляющей тока.

12. Как рассчитываются ЭДУ внутри контура с током и между токоведущими контурами с помощью энергетического метода?

13. Объясните суть метода расчета электродинамических сил, основанного на законе Ампера.

14. С позиции теории ЭДУ объясните принцип действия устройства, состоящего из С-образного электромагнита переменного тока, между полюсами которого расположен алюминиевый диск (счетчик электроэнергии).

15. Дайте понятие электродинамической стойкости электрических аппаратов.

16. Определить величину коэффициента электродинамических усилий для системы двух параллельных круглых проводников длиной  $l = 10$  м, находящихся на расстоянии  $a = 2$  м друг от друга.

17. Определить величину электродинамического усилия, действующего между двумя параллельными круглыми проводниками длиной  $l = 4$  м, находящимися на расстоянии  $a = 3$  м. По проводникам протекают постоянные токи  $I_1 = 10$  кА и  $I_2 = 15$  кА.

18. Часть круглого проводника диаметром  $d = 10$  мм длиной  $l_1 = 1$  м расположена под прямым углом по отношению к другой его части длиной  $l_2 = 2$  м. Определить величины электродинамических усилий, действующих на части проводника, если по нему протекает постоянный ток  $I = 12$  кА.

19. Определить величину электродинамического усилия, возникающего между двумя параллельными шинами прямоугольного сечения  $h \times b = 100 \times 10$  мм  $\times$  мм на длине  $l = 2$  м. Расстояние между осями шин  $a = 20$  мм, по ним протекает ток короткого замыкания  $I_{кз} = 54$  кА. Шины расположены широкими сторонами друг к другу.

20. Определить электродинамическое усилие, с которым притягиваются друг к другу два круглых  $d = 5$  мм соседних витка цилиндрического реактора, если средний радиус витков  $R = 0,5$  м, ток  $I = 35$  кА, шаг витков реактора  $h = 10$  мм.

21. Как направлены ЭДУ и моменты в системах взаимно перпендикулярных проводников?

22. Приведите примеры устройств, принцип действия которых основан на взаимодействии проводника с током и ферромагнитным телом.

23. Как компенсируется действие электродинамических сил в размыкаемых контактных соединениях, не размыкаемых контактных соединениях, параллельных токоведущих шинах, в мощных масляных трансформаторах?

24. В каких случаях для расчета ЭДУ удобнее использовать уравнение Ампера, а в каких – энергетического баланса.

25. Какие количественные показатели служат для оценки электродинамической стойкости?

## **Тема 6. Магнитные цепи и электромагнитные механизмы**

Магнитные цепи электромагнитных систем электрических аппаратов: понятие и классификация; основные законы магнитных цепей (законы Ома, Кирхгофа, полного тока); схемы замещения магнитных це-

пей; методы расчета проводимостей воздушных зазоров с выпучиванием потока или зазоров сложной конфигурации.

Электромагниты (ЭМ) постоянного и переменного тока в электрических аппаратах; работа силы электромагнитного притяжения; методы расчета электромагнитных сил.

Динамика электромагнитов; способы замедления и ускорения срабатывания.

**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

### **Методические указания**

Необходимо усвоить основные понятия, относящиеся к магнитным цепям: магнитные величины, их размерности и формулы, выражающие связь между ними, части магнитной цепи, рабочий и нерабочий зазор, рабочий поток и потоки рассеяния, картины магнитного поля, характеристики магнитных материалов.

Необходимо уметь нарисовать схему распределения потоков в типичных электромагнитах.

При изучении ЭМ переменного тока нужно обратить внимание на рост тока обмотки с увеличением воздушного зазора, некоторое снижение потока в сердечнике при этом за счет падения напряжения на активном сопротивлении обмотки, а также снижение потока в зазоре за счет рассеяния.

Следует знать примерный вид тяговых характеристик различных ЭМ и их влияние на область применения этих ЭМ.

Необходимо понять физическую сущность работы ЭМ переменного тока с короткозамкнутым витком, применяемым для устранения вибрации якоря вследствие пульсации тяговой силы.

Следует знать параметры, от которых зависят время трогания и время движения.

### **Вопросы и задания**

1. Опишите достоинства и недостатки различных конструкций магнитных систем в электромагнитах.
2. Объясните вид тяговых характеристик различных электромагнитов.
3. Опишите достоинства и недостатки поляризованных электромагнитов.
4. Опишите динамику срабатывания электромагнита постоянного тока.
5. Каким образом можно изменить время срабатывания электромагнита постоянного тока?

6. Напишите формулы основных законов для магнитной цепи. Объясните каждую из входящих в формулы величин и приведите их единицы измерения.

Рассчитайте магнитную проводимость между двумя прямоугольными полюсами размерами 20x30 мм с зазором 10 мм. Опишите методы определения проводимостей с учетом выпучивания потока.

7. Определите индуктивное сопротивление обмотки П-образного ЭМ с двумя одинаковыми зазорами. Величина зазора 5 мм, размеры сечения стержня 24x32 мм, его длина 50 мм, удельная проводимость рассеяния 3 мкГн/м, число витков обмотки 2000, частота сети 50 Гц. Влиянием магнитного сопротивления стали пренебречь.

8. Приведите схему замещения магнитной цепи П-образного ЭМ с двумя рабочими зазорами, поясните входящие в нее сопротивления. Рассчитайте МДС обмотки электромагнита, если поток в зазоре равен 0,001 Вб, сечение магнитопровода равно 600 мм<sup>2</sup>; длины участков стержней 30 мм, длина основания 50 мм. Удельная проводимость рассеяния 2 мкГн/м.падением магнитного потенциала стали пренебречь.

9. Рассчитайте ток в обмотке П-образного электромагнита переменного тока при двух значениях зазора: 4 мм и 0,5 мм (без учета выпучивания поля в зазорах). Площадь полюса равна 0,002 кв.м, приведенная проводимость рассеяния – 0,1 мкГн. Число витков обмотки – 700, активное сопротивление 50 Ом, частота 50 Гц, напряжение 220 В. Рассчитайте также поток в зазоре для обоих случаев.

10. Определите диаметр медного провода обмотки постоянного тока, необходимый для создания намагничивающей силы 600 А при напряжении питания 110 В. Внутренний и наружный диаметры катушки 34 и 50 мм, ее температура 80°C.

11. Определите число витков обмотки ЭМ переменного тока на напряжение 220 В, частотой 50 Гц, при котором создается магнитный поток 0,001 Вб, и выберите диаметр провода, учитывая, что МДС обмотки должна быть равна 400 А (амплитудное значение). Расчетную температуру обмотки примите равной 90°, среднюю длину витка – 180 мм.

12. Рассчитайте силу тяги ЭМ постоянного тока при МДС обмотки 1200 А, 80 % которой приходится на проведение потока через рабочий зазор величиной 3 мм. Диаметр полюса 50 мм. Расчет выполните по формуле Максвелла без учета влияния выпучивания потока в зазоре. Объясните методы расчета времени трогания и движения ЭМ постоянного тока при срабатывании.

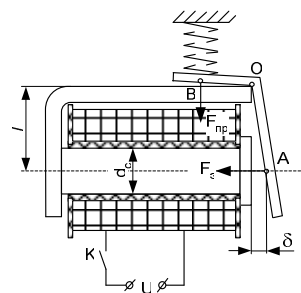
13. Определите площадь зазора в ЭМ переменного тока с двумя одинаковыми зазорами, необходимую для создания максимальной тяговой силы величиной 480 Н при амплитудном значении индукции в зазо-



ре 1 Тл. Рассчитайте магнитный поток и число витков, необходимое для его создания при напряжении на обмотке 85 % от номинального, равного 220 В. Влиянием активного сопротивления обмотки можно пренебречь. Нарисуйте на одном графике типичные тяговые характеристики для ЭМ различных форм.

14. Какое сопротивление должен иметь короткозамкнутый виток на расщепленном полюсе электромагнита переменного тока при величине зазора 0,06 мм и площади экранированной части полюса  $200 \text{ мм}^2$ , чтобы сдвиг фаз потоков был равен 65 градусам? Рассчитайте поперечное сечение медного витка при его длине 66 мм и температуре  $120^\circ$ . Объясните процессы, происходящие при отключении ЭМ постоянного тока. Как определить время отпускания?

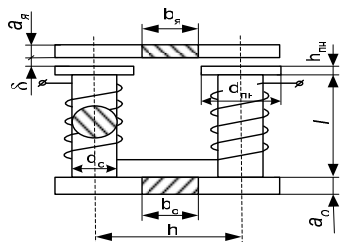
15. Составьте электрическую схему замещения электромагнита, показанного на рисунке; объясните физические процессы в электромагните после замыкания ключа К; определите индуктивность  $L$  катушки при начальном положении якоря ( $\delta = 5 \text{ мм}$ ) без учета магнитного сопротивления стальных участков магнитной цепи ( $R_{\text{мст}} = 0$ ), магнитных потоков рассеяния ( $\Phi_s = 0$ ) и потоков выпучивания ( $\Phi_b = 0$ ); постройте график изменения тока в катушке  $I = f(t)$  после замыкания ключа К при неподвижном якоре; определите продолжительность электромагнитного переходного процесса при неподвижном якоре.



*Исходные данные:* напряжение питания  $U = 100 \text{ В}$ , сопротивление катушки  $R = 100 \text{ Ом}$ , количество витков катушки  $w = 1000$ , диаметр сердечника  $d_c = 10 \text{ мм}$ , ход якоря в точке А  $\delta = 5 \text{ мм}$ , сила пружины в исходном положении якоря  $F_{\text{пр}} = 1 \text{ Н}$ , отношение плеч якоря  $OA/OB = 2$ , длина сердечника  $l = 50 \text{ мм}$ .

16. Определите время трогания ЭМ постоянного тока, если его намагнивающая сила трогания равна 1250 А, проводимость магнитной цепи  $0,45 \text{ мкГн}$ , число витков обмотки 9900 и ее сопротивление 50 Ом. К обмотке приложено напряжение 110 В. Объясните принцип работы ЭМ постоянного тока замедленного действия с короткозамкнутой обмоткой. В чем состоят отличия этой обмотки от короткозамкнутого витка, используемого в ЭМ переменного тока?

17. Что называется магнитной цепью? Дайте характеристику магнитной цепи электромагнита, представленного на рисунке. Определите



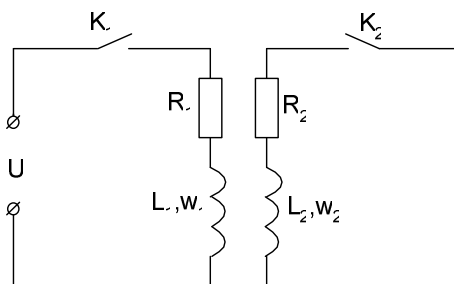
величину магнитного потока  $\Phi_\delta$  в рабочем воздушном зазоре  $\delta = 1,5$  мм электромагнита при намагничивающей силе катушки  $Iw = 1000$  А.

Магнитным сопротивлением стали можно пренебречь.

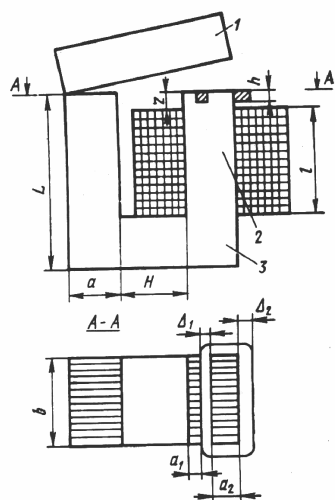
Размеры электромагнита:  $d_{\text{пн}} = 2,4 \cdot 10^{-2}$  м;  
 $h_{\text{пн}} = 0,3 \cdot 10^{-2}$  м;  $l = 5 \cdot 10^{-2}$  м.

18. Изобразите электрическую схему замещения электромагнита. Определите намагничивающую силу обмотки  $I_w$  электромагнита (см. рис. к вопр. 17). Величина потока в рабочем воздушном зазоре  $\Phi_\delta = 2,3 \cdot 10^{-4}$  Вб. Учтеть магнитное сопротивление стали (магнитопровод выполнен из стали 10). Геометрические размеры электромагнита:  $d_{\text{пн}} = 2,4 \cdot 10^{-2}$  м;  $d_c = 1,6 \cdot 10^{-2}$  м;  $a_y = 0,6 \cdot 10^{-2}$  м;  $a_0 = 1 \cdot 10^{-2}$  м;  $b_y = b_0 = 2,4 \cdot 10^{-2}$  м;  $h = 3,6 \cdot 10^{-2}$  м;  $h_{\text{пн}} = 0,3 \cdot 10^{-2}$  м;  $l = 5 \cdot 10^{-2}$  м.

19. Электромагнитное реле, электрическая схема которого приведена на рисунке, содержит две обмотки – основную с параметрами  $R_1, L_1$  и дополнительную с параметрами  $R_2, L_2$ . Основная обмотка имеет количество витков  $w_1$  и подключается при помощи ключа  $K_1$  к источнику постоянного тока. Дополнительная обмотка с числом витков  $w_2$  при помощи ключа  $K_2$  замыкается



накоротко. Сделайте анализ физических процессов в реле после замыкания и размыкания ключа  $K_1$  при замкнутом ключе  $K_2$



20. Составьте схему замещения магнитной цепи без учета стальных участков магнитопровода и потока рассеяния для электромагнита переменного тока (см. рисунок) и определите входящие в эту схему магнитные сопротивления при притянutom якоре. Геометрические размеры электромагнита: конечный рабочий зазор неэкранированной и экранированной частей полюса  $\delta_1 = \delta_2 = 0,05$  мм; паразитный зазор  $\delta_e = 0,2$  мм;

$$\Delta_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \Delta_2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad a_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad a_2 = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

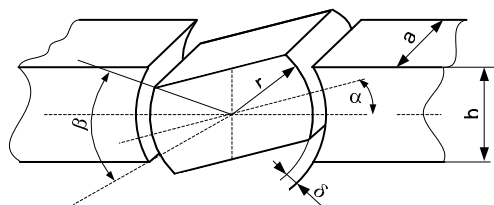
$$a = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad b = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad h = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad z = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$H = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad L = 52 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Виток выполнен из латуни; температура нагрева  $\theta = 80^\circ \text{ C}$ .

21. Определите продолжительность электромагнитного процесса после замыкания ключа  $K_1$  (см. рис. к вопросу № 19) при неподвижном якоре реле ( $L = \text{const}$ ) и разомкнутом ключе  $K_2$ , если МДС срабатывания составляет 70 % установившегося значения. Определите предельное время срабатывания реле, если постоянная времени короткозамкнутого контура равна  $T_2 = 20 \text{ мс}$ . Временем движения реле пренебречь, а внутреннее сопротивление источника питания считать очень большим.

22. Охарактеризуйте аналитический метод расчета магнитных проводимостей зазоров без учета и с учетом потоков выпучивания.



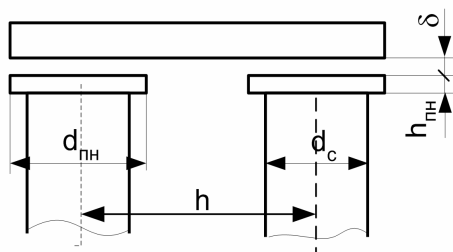
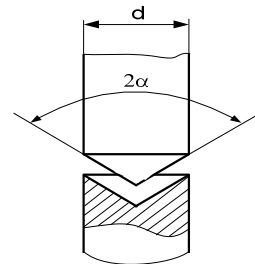
Определите суммарную магнитную проводимость рабочих зазоров между якорем и полюсами электромагнитного механизма, представленного на рисунке. Размеры полюсов:  $a = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $b = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $r = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $\delta = 0,06 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $\alpha = 15^\circ$ .

23. Определите проводимость воздушного зазора электромагнита с втягивающимся якорем (см. рисунок).

Геометрические размеры:

$$2\alpha = 60^\circ, \quad \delta = 0,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad d = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

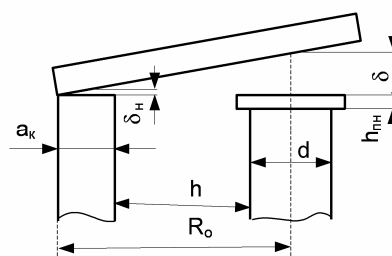
Как изменится проводимость, если угол при вершине будет  $2\alpha = 180^\circ$  (якорь и стоп с плоским торцом).



Геометрические размеры электромагнита:  $\delta = 0,05 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $d_{\text{пн}} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $h_{\text{пн}} = 0,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $h = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ,  $d_c = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ .

25. Что такое проводимость рассея-

20



рассеяния? Дайте характеристику методов расчета проводимости рассеяния. Определите суммарную проводимость воздушных зазоров и удельную проводимость рассеяния магнитной системы, приведенной на рисунке.

Геометрические данные:

$d = 1 \cdot 10^{-2}$  м,  $h_{\text{пн}} = 0,3 \cdot 10^{-2}$  м,  $d_{\text{пн}} = 1,5 \cdot 10^{-2}$  м,  $h = 1,5 \cdot 10^{-2}$  м,  $a_{\text{к}} = 0,5 \cdot 10^{-2}$  м,  $\delta = 0,5 \cdot 10^{-2}$  м,  $b = 1,6 \cdot 10^{-2}$  м – ширина ярма (размер за чертеж),  
 $R_0 = h + a_{\text{к}} + 0,5d$ .

## **Часть 2.**

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, УПРАВЛЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИКИ (5(8) СЕМЕСТРЫ)**

#### **Тема 7. Электрические аппараты управления и распределительных устройств низкого напряжения**

Определение, назначение, область применения, классификация электрических аппаратов управления и распределительных устройств низкого напряжения (контакторы, пускатели, контроллеры, командоконтроллеры, резисторы, реостаты, электрические муфты, автоматические выключатели, предохранители).

Характеристики, основные параметры и технические данные; устройство и принцип действия; схемы подключения и обозначение аппарата; режимы работы электрических аппаратов управления и распределительных устройств низкого напряжения.

Предъявляемые требования, достоинства и недостатки; основные количественные зависимости (формулы), характеризующие работу аппарата и его свойства.

**Рекомендуемая литература:** [1, 5, 6, 12, 13, 15–18].

#### **Методические указания**

При изучении темы следует обратить внимание на отличия одних аппаратов от других, например, автоматов от контакторов, командоконтроллеров от силовых контроллеров, реостатов от резисторов. Нужно уяснить взаимодействие аппаратов, используемых в схемах автоматического управления, например, контакторов – с командоаппаратами, реле, резисторами.

Требуется также хорошо ознакомиться с устройством хотя бы одного промышленного образца аппарата каждого типа по рисункам

и чертежам из литературы, каталогам на промышленное электрооборудование.

Не нужно стараться заучить численные значения параметров аппарата по справочным и каталожным данным, достаточно иметь представление о порядке этих величин.

### **Вопросы и задания**

1. Приведите классификацию контакторов.
2. Выберите один тип контактора постоянного тока и опишите его устройство, укажите назначение основных узлов.
3. Выберите один тип контактора переменного тока и опишите его устройство, укажите назначение основных узлов.
4. В чем состоят особенности устройства электромагнита контактора переменного тока?
5. Опишите специальные типы контакторов.
6. Опишите принцип действия дугогасительных устройств, используемых в контакторах и автоматах. Укажите, в каких случаях применяются те или иные дугогасительные устройства.
7. Изобразите и опишите устройство магнитного пускателя серии ПМЛ.
8. Приведите и объясните схему нереверсивного магнитного пускателя.
9. Приведите и объясните схему реверсивного магнитного пускателя.
10. Объясните функции автоматического выключателя. В чем состоит эффект токоограничения?
11. Опишите устройство и принцип действия универсального автомата с помощью его принципиальной схемы. Расцепители каких типов применяются в универсальных и установочных автоматах?
12. Опишите назначение и устройство механизма свободного расцепления.
13. Опишите устройство и принцип действия установочных автоматов. Чем отличаются по своему устройству токоограничивающий и селективный автоматы?
14. Опишите назначение и принцип действия быстродействующего автомата серии ВАБ.
15. Изобразите времятоковую характеристику предохранителя и объясните ее согласование с защитной характеристикой объекта.
16. Опишите устройство и принцип действия разборного и насыпного предохранителей.
17. Какие материалы применяются для плавких вставок и в чем заключаются особенности применения различных материалов?

18. Как осуществляется выбор предохранителей? Приведите примеры выбора предохранителей по условиям длительной эксплуатации, пуска и селективности.

19. Опишите назначение и особенности конструкции быстродействующего предохранителя. По каким параметрам производится его выбор?

20. Перечислите основные типы резисторов, используемых в силовых цепях; укажите их области применения, особенности конструкции и важнейшие технические данные.

21. Перечислите основные виды командоаппаратов, укажите их области применения и важнейшие технические данные.

22. Опишите устройство и принцип действия гистерезисной муфты.

23. Опишите принцип действия и устройство фрикционной электромагнитной муфты.

24. Опишите принцип действия и устройство ферропорошковой электромагнитной муфты.

25. Опишите назначение, типы и принципы действия контроллеров.

### **Тема 8. Реле и датчики**

Определение, назначение, область применения, классификация электрических аппаратов контроля (реле и датчики).

Характеристики, основные параметры и технические данные; устройство и принцип действия; схемы подключения и обозначение аппарата; режимы работы электрических аппаратов контроля.

Предъявляемые требования, достоинства и недостатки; основные количественные зависимости (формулы), характеризующие работу аппарата и его свойства.

**Рекомендуемая литература:** [1, 5, 6, 12, 13, 15–18].

### **Методические указания**

При изучении темы следует обратить внимание на такие параметры реле, как ток или напряжение срабатывания и коэффициент возврата, усвоить способы регулирования тока срабатывания и других параметров.

Следует ознакомиться с различными типами датчиков, отличающихся принципом действия и входной величиной; уяснить сущность основных параметров датчиков (чувствительность, погрешность, диапазон измерения).

### **Вопросы и задания**

1. Перечислите основные типы реле с различными принципами действия и виды реле в зависимости от характера сигнала, поступающего на измерительный орган. Перечислите важнейшие параметры реле.

2. Для чего применяется электромагнитное реле времени, на каком принципе оно действует?

3. От чего зависит ток срабатывания, ток отпускания и коэффициент возврата электромагнитного реле? Как осуществляется регулирование тока срабатывания и как при этом изменяется коэффициент возврата?

4. Опишите конструкцию реле тока РТ-40. Почему в этом реле обмотка разделена на две секции? Почему якорь реле выполнен из одного тонкого листа стали, а сердечник – в виде пакета листов?

5. Что такое уставка тока? При помощи формул объясните связь между током срабатывания и уставкой тока в реле максимального тока типа РТ-40.

6. Опишите конструкцию и принцип действия реле времени с электромагнитным замедлением. Приведите необходимые формулы и графики.

7. Охарактеризуйте реле времени.

8. Опишите принцип действия геркона, методы управления герконом, его достоинства и недостатки. Изобразите схематически и опишите основные виды конструкций герконовых реле.

9. Дайте описание работы поляризованного реле и трех вариантов настройки реле в зависимости от положения якоря.

10. Изобразите схематично конструкции поляризованных реле с последовательной, параллельной и мостовой магнитной цепью. Дайте им краткую характеристику.

11. Перечислите типы тепловых реле и охарактеризуйте их.

12. Приведите характеристику теплового реле с биметаллическим элементом и объясните ее с применением формул. Какие другие принципы используются в тепловых реле?

13. Как согласовать характеристики объекта и теплового реле?

14. Опишите достоинства и недостатки полупроводниковых реле.

15. Опишите назначение, область применения датчиков и требования, предъявляемые к ним.

16. Что такое чувствительность, порог чувствительности и номинальная характеристика датчика? Какие существуют виды погрешностей датчиков?

17. Укажите общие достоинства и недостатки пассивных и активных датчиков.

18. Какие типы датчиков используются для контроля угла поворота и линейного перемещения? Кратко объясните их принцип действия.

19. В чем состоит разница между индуктивными и индукционными датчиками? Приведите примеры того и другого типа датчиков.

20. Какие типы датчиков, и каким образом используются для контроля механических нагрузок?

21. Перечислите типы датчиков частоты вращения, объясните их устройство и принцип действия.

22. Что такое параметрический датчик? Приведите примеры параметрических датчиков. Опишите один из видов параметрических датчиков более подробно.

23. Опишите индуктивные и дифференциально-индуктивные датчики: разновидности, принцип действия, достоинства и недостатки.

24. Что такое генераторный датчик? Приведите примеры генераторных датчиков. Опишите один из видов генераторных датчиков более подробно.

25. Опишите устройство и принцип действия датчика Холла.

## **Тема 9. Электрические аппараты высокого напряжения**

Определение, назначение, область применения, классификация электрических аппаратов высокого напряжения.

Характеристики, основные параметры и технические данные; устройство и принцип действия; схемы подключения и обозначение аппарата; режимы работы электрических аппаратов высокого напряжения.

Предъявляемые требования, достоинства и недостатки; основные количественные зависимости (формулы), характеризующие работу аппарата и его свойства.

**Рекомендуемая литература:** [1, 5, 19, 20].

### **Методические указания**

При изучении темы необходимо обратить внимание на особенности конструкции, обеспечивающие функционирование отдельных видов аппаратов, усвоить сущность основных процессов, протекающих в них при работе. Например, для разъединителей отметить недопустимость их отключения под током и меры по предотвращению самопроизвольного или ошибочного отключения.

### **Вопросы и задания**



1. Приведите классификацию аппаратов высокого напряжения.
2. Изложите основные требования, предъявляемые к аппаратам высокого напряжения.
3. Назовите основные параметры аппаратов высокого напряжения.
4. Перечислите основные виды высоковольтных выключателей. Укажите их особенности и области применения.
5. Перечислите способы гашения дуги высоковольтных аппаратов и опишите один из них.
6. Объясните принцип действия элегазового выключателя, укажите область его применения.
7. Объясните конструкцию и принцип действия вакуумного выключателя, укажите область его применения.
8. Сделайте краткий обзор конструкций дугогасительных систем в высоковольтных выключателях.
9. Перечислите основные параметры высоковольтных выключателей.
10. Почему термическая стойкость определяется током короткого замыкания, а электродинамическая – ударным током короткого замыкания?
11. Чем ограничивается предельный ток отключения в высоковольтных выключателях?
12. В чем заключаются достоинства элегазовых выключателей по сравнению с воздушными и масляными?
13. Какова особенность гашения дуги в электромагнитном выключателе?
14. Назовите достоинства вакуумных выключателей в сравнении с масляными и электромагнитными.
15. Перечислите типы приводов аппаратов высокого напряжения, укажите их особенности и области применения.
16. Каково назначение реакторов? Какие типы реакторов применяются в распределительных устройствах? В чем состоит особенность и преимущество сдвоенного реактора?
17. Укажите причины погрешностей трансформаторов тока.
18. Какие схемы включения трансформаторов напряжения используются, и в каких целях? В чем заключается разница свойств трех- и пятистержневых трансформаторов напряжения?
19. Укажите причины погрешностей трансформаторов напряжения.
20. Для чего служат разрядники? Опишите их типы, устройство и принцип действия, место в электрических схемах.
21. Опишите назначение, конструкцию и основные компоненты комплектного распределительного устройства.
22. Опишите особенности конструкции, применения и выбора высоковольтных предохранителей.

23. Опишите конструкции и принцип действия разъединителей и отделителей.

24. Укажите особенности конструкции разъединителей для внутренней и наружной установки.

25. Объясните назначение отделителей и короткозамыкателей.

## **Тема 10. Электронные аппараты**

Общая характеристика функциональных свойств, назначение, области применения, классификация электронных аппаратов.

Электронные аппараты низкого напряжения. Общие принципы создания силовых электронных аппаратов постоянного и переменного тока. Параллельное соединение полупроводниковых приборов в силовых блоках аппаратов. Комбинированные (гибридные) контактно-полупроводниковые аппараты.

Электронные аппараты высокого напряжения. Общая характеристика электронных аппаратов высокого напряжения. Последовательное соединение полупроводниковых приборов в высоковольтных блоках. Общие сведения о комбинированных аппаратах высокого напряжения.

Системы управления силовыми электронными аппаратами. Основные требования к системам управления. Принципы импульсно-фазового управления. Системы управления электронными аппаратами низкого и высокого напряжения.

**Рекомендуемая литература:** [1, 14, 16].

### **Методические указания**

При изучении темы необходимо обратить внимание на достоинства и недостатки электронных аппаратов по сравнению с контактными, преимущества гибридных аппаратов перед бесконтактными.

Следует изучить простейшие схемы реле на транзисторах, условия перехода транзисторного усилителя в релейный режим; особенности использования транзисторов  $p-n-p$  и  $n-p-n$  типов, сущность и преимущества ключевого режима работы транзисторов; проблему запираания тиристорных схем в схемах постоянного тока; работу силовой части тиристорных коммутаторов переменного тока при встречно-параллельном включении тиристорных схем и при замене одного из них простым вентиляем. Обратить внимание на значение защиты тиристорных схем и силовых транзисторных схем от перегрузок, токов короткого замыкания и перенапряжений.

### **Вопросы и задания**

1. Приведите классификацию силовых электронных аппаратов.
2. Укажите области применения электронных аппаратов и перечислите их преимущества и недостатки по сравнению с контактными.
3. Перечислите характеристики и параметры силовых электронных приборов.
4. Какие условия необходимо создать для перехода тиристора в проводящее состояние?
5. Какие требования предъявляются к импульсам управления тиристорам?
6. В чем состоят различия принципов действия, характеристик и областей применения транзисторов и тиристорам в электронных аппаратах?
7. Перечислите принципы создания электронных аппаратов постоянного тока.
8. Приведите принципиальные схемы тиристорных коммутаторов постоянного тока. В чем заключаются их принципиальные особенности по сравнению со схемами для переменного тока?
9. Приведите электрическую схему и опишите принцип действия тиристорного контактора постоянного тока.
10. Приведите электрическую схему и опишите принцип действия гибридного контактора с управлением по току коммутируемой цепи.
11. Приведите схему управления асинхронным двигателем при помощи гибридного контактора на неуправляемых вентилях и с синхронизирующими устройствами в виде реле управления.
12. Проведите сравнительный анализ достоинств и недостатков силовых контакторов электромеханического и статического принципа действия.
13. Проведите электрическую схему и поясните принцип действия тиристорного контактора переменного тока.
14. Опишите электронное реле.
15. Приведите классификацию твердотельных реле.
16. Опишите конструкции твердотельных реле.
17. Приведите примеры входных и структурных схем твердотельных реле.
18. Опишите структуру, функции и конструкции микропроцессорных контроллеров.
19. Опишите микропроцессорные устройства управления и защиты электродвигателей.
20. Чем микропроцессорное реле защиты асинхронного двигателя от перегрузок отличается от теплового реле? Что между ними общего?

21. Приведите классификацию электронных регуляторов переменного напряжения.

22. Дайте общую характеристику силовым электронным аппаратам высокого напряжения.

23. Охарактеризуйте режимы работы силовых полупроводниковых приборов в схемах электронных аппаратов.

24. Перечислите требования к системам управления силовыми электронными аппаратами.

25. Как обеспечивается защита электронных аппаратов от аварийных токов?

### **ЧАСТЬ 3. ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ (6(9) СЕМЕСТР)**

#### **Тема 11. Общие вопросы проектирования электрических аппаратов**

Сущность и понятие проектирования. Стадии, этапы и процедуры проектирования. Задачи проектирования. Оптимизация при проектировании.

Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам (функционально-технические, эксплуатационные, социальные, экономические, технологические, производственные).

Показатели качества проектируемых аппаратов. Составные элементы электрических аппаратов (детали и узлы).

Порядок учебного проектирования. Техническое задание.

Обзор существующих конструкций. Выбор прототипа.

Тепловые расчеты электрических аппаратов.

**Рекомендуемая литература:** [3, 4, 21–23].

#### **Методические указания**

При изучении темы следует обратить внимание на основные принципы проектирования, отличие промышленного проектирования от учебного; усвоить порядок расчета узлов электрических аппаратов; изучить правила и структуру выбора прототипа при проектировании электрического аппарата; уяснить задачи и сущность оптимизации.

Требуется иметь представление о методах определения коэффициентов теплоотдачи при тепловых расчетах узлов аппарата.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Поясните понятие и сущность проектирования технического объекта (электрического аппарата).
2. В чем заключаются принципы иерархичности, декомпозиции, многоэтапности, итерационности, типизации и унификации, используемые при проектировании.
3. Перечислите стадии проектирования. Приведите примеры этапов, операций и процедур при проектировании.
4. Назовите основные средства обеспечения качества при проектировании электрических аппаратов.
5. Приведите примеры задач оптимизации при проектировании электрических аппаратов.
6. Перечислите основные требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.
7. Чем отличаются такие стадии проектирования, как предварительное, эскизное, техническое и рабочее.
8. Что представляет собой конструкторская, технологическая и эксплуатационная документация.
9. Поясните содержание технического задания на проектирование.
10. Перечислите составные элементы электрических аппаратов (части, узлы и детали).

## **Тема 12. Проектирование узлов электрических аппаратов**

Проектирование электрических аппаратов кинематической коммутации. Расчет токоведущего контура, включая токоведущий провод, соединительные и коммутирующие контакты; расчет дугогасительных устройств и электромагнитов постоянного и переменного тока.

Проектирование электрических аппаратов статической коммутации. Выбор принципиальной электрической схемы; выбор элементов принципиальной электрической схемы; выбор элементов схемы управления. Тепловые расчеты. Расчет надежности.

**Рекомендуемая литература:** [3, 4, 21–23].

### **Методические указания**

При изучении темы следует обратить внимание на основные теоретические основания расчета узлов аппарата, исходные данные и результаты проектирования, а также критерии оценки работоспособности отдельных узлов и всего аппарата в целом.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. В чем заключается задача определения термической стойкости токоведущего проводника?
2. Из каких соображений выбирается сила нажатия контактов?
3. Что представляют собой исходные данные и результаты расчета обмотки электромагнита?
4. Каким образом проводится проверка контактов на сваривание?
5. Как составить схему замещения электромагнита для расчета магнитной цепи?
6. Поясните процесс обеспечения реверса асинхронного двигателя тиристорным пускателем.
7. Какие виды защиты имеет тиристорный пускатель марки ПТ?
8. Поясните принцип действия защиты при перегрузках.
9. Поясните принцип формирования импульса управления тиристорами.
10. Поясните, от чего зависят параметры элементов цепи управления тиристорами.

### **3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **3.1. Тематика практических занятий**

##### **5 (8) семестр (4 часа)**

Тема 1. Расчет электрических контактов (2 часа).

Тема 2. Расчет электродинамических усилий (2 часа).

**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

##### **6 (9) семестр (6 часов)**

Тема 3. Тепловые расчеты электрических и электронных аппаратов (2 часа).

Тема 4. Расчет дугогасительных устройств (2 часа).

Тема 5. Расчет магнитных цепей и электромагнитов (2 часа).

**Рекомендуемая литература:** [1, 2, 5–11].

#### **3.2. Перечень лабораторных работ**

##### **5 (8) семестр (4 часа)**

Лабораторные работы проводятся на физических установках в лаборатории электрических аппаратов энергетического института. К выполнению лабораторной работы студент может приступить только после допуска (ответы на контрольные вопросы, содержащиеся в методических указаниях к каждой лабораторной работе) преподавателем. Если лабораторные работы не сделаны, то студент не допускается до сдачи экзамена.

Лабораторная работа № 1. Исследование автоматического воздушного выключателя (2 часа).

Лабораторная работа № 2. Исследование электромагнитного реле максимального тока РТ-40 (2 часа).

**Рекомендуемая литература:** [1, 5, 6, 12, 13, 15–18, 24].

##### **6 (9) семестр (4 часа)**

Лабораторная работа № 3. Исследование электромагнитного контактора (2 часа).

Лабораторная работа № 4. Исследование низковольтного магнитного пускателя (2 часа).

**Рекомендуемая литература:** [1, 5, 6, 12, 13, 15–18, 24].

## 4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

### Общие методические указания

По дисциплине «Электрические и электронные аппараты» предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания (ИДЗ) в 5(8) семестре.

Индивидуальное задание, которое необходимо выполнить студенту, предназначено для проверки знаний, полученных при самостоятельном освоении программы дисциплины, и состоит из письменных ответов на контрольные вопросы по темам и в решении задач (Часть 1 и Часть 2 Теоретического раздела дисциплины, стр. 5–31 данных методических указаний). Выполнять домашнее задания следует по мере изучения тем дисциплины.

**Номер варианта задания по каждой из тем определяется по последним двум цифрам номера зачетной книжки.** Если образуемое ими число больше 25, то из него следует вычесть число 25. Например, если номер зачетной книжки Д-11Г10/12, то номер варианта задания равен 12. Если номер зачетной книжки З-ЗБ10/26, то номер варианта задания равен 1.

При выполнении и оформлении ИДЗ необходимо соблюдать **следующие условия:**

- индивидуальное задание следует выполнять с использованием компьютера. На титульном листе должны быть указаны фамилия и инициалы студента, его полный шифр, номер варианта и дата ее отправки в университет;
- размер шрифта 12-14 пт.;
- ответы на вопросы и решения заданий ИДЗ следует располагать в последовательности, соответствующей последовательности тем дисциплины. Перед ответом на вопросы и решением заданий необходимо полностью выписать их условия;
- ответы должны кратко и ясно освещать все детали вопроса и не должны заключаться в копировании материалов источников;
- ответы на вопросы и решения задач нужно сопровождать (в зависимости от существа вопроса) графиками, схемами, рисунками с необходимыми буквенными и цифровыми обозначениями;
- при решении задач следует писать расчетные формулы, затем подставлять в них численные значения, приводить важнейшие промежуточные результаты вычислений и давать конечные результаты с указанием размерностей;



- в конце работы нужно привести список использованной литературы по установленной форме. В расчетах необходимо сделать ссылки на литературу, из которой выбраны методы расчета, формулы и справочные данные;

- индивидуальное задание оформляется в соответствии с требованиями действующего на настоящий момент стандарта предприятия (СТО ТПУ) [24];

- если работа выполнена неудовлетворительно, то ее возвращают студенту, и он должен в короткий срок исправить ее. При необходимости студент должен дать на экзамене пояснения по всем вопросам, содержащимся в ИДЗ.

Нумерация вопросов и заданий для каждой темы (всего 10 тем) дана в Теоретическом разделе дисциплины данных методических указаний (Часть 1 и Часть 2).

## **5. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

### **5.1. Цели курсового проектирования**

Курсовое проектирование в рамках дисциплины «Электрические и электронные аппараты» является важнейшей составляющей самостоятельной учебной деятельности студента в процессе обучения и направлено на достижение следующих целей:

- закрепление и более глубокое усвоение теоретических знаний в области электротехники;
- приобретение практических навыков постановки и решения конкретных инженерных задач применительно к электрическим аппаратам;
- приобретение практических навыков выбора и использования методов проведения инженерных расчетов узлов электрических и электронных аппаратов;
- приобретение практических навыков анализа результатов проводимых инженерных расчетов;
- приобретение студентами навыков самостоятельного анализа качества конструктивных решений электрических аппаратов, выработки технических решений, их обоснования и разработки предложений по совершенствованию конструкций;
- приобретение практических навыков использования литературных источников, нормативных и справочных материалов при решении задач;
- подготовка к выполнению выпускной квалификационной работы.

### **5.2. Тематика курсового проектирования**

Темы курсовых проектов, предлагаемые студентам для разработки в рамках дисциплины «Электрические и электронные аппараты», отличаются типом аппарата (контактный или бесконтактный), например «Магнитный пускатель для пуска асинхронного двигателя», «Магнитный контактор для коммутации цепи электродвигателя экскаватора», «Тиристорное коммутирующее устройство».

Объектом курсового проектирования по дисциплине является электрический или электронный (бесконтактный) аппарат.

В рамках предлагаемых тем курсового проекта предусматривается: выполнение студентами выбора прототипа (для контактного аппарата – конструктивной схемы, для бесконтактного – принципиальной электрической схемы); расчет узлов или выбор элементов аппарата; проведение поверочных расчетов и анализа результатов.

Работа выполняется в виде пояснительной записки. Конструкция (в виде чертежа общего вида) и/или принципиальная схема электрического аппарата приводится в графической части проекта.

**Рекомендуемая литература:** [3, 4, 21–24].

### **5.3. Содержание пояснительной записки курсового проекта**

**Пояснительная записка** (текстовый документ) курсового проекта, оформленный в соответствии с требованиями действующего на настоящий момент стандарта предприятия (СТО ТПУ), представляется в следующем составе:

- Титульный лист.
- Задание.
- Реферат.
- Содержание.
- Введение.
- Основные разделы.
- Заключение.
- Список использованных источников.
- Приложения.

**Титульный лист** является первым листом пояснительной записки и оформляется по форме, регламентируемой СТП ТПУ. Пример оформления титульного листа представлен в прил. I.

**Задание** (техническое задание) на курсовое проектирование является документом, в котором формулируется тема курсового проекта с указанием типа аппарата, исходных данных в виде номинальных параметров, характеристик объекта проектирования и режимов работы, указывается содержание пояснительной записки (текстового документа) и графической части.

Пример оформления задания представлен в прил. II.

**Рекомендуемая литература:** [24].

## **6. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ**

Учебным планом дисциплины предусмотрена сдача студентами экзамена в 5-м (8-м) семестре и дифференцированного зачета в 6-м (9-м).

Экзамен сдаётся студентами в 5-м (8-м) семестре после завершения изучения первой и второй частей дисциплины и выполнения ИДЗ № 1. Экзамен проводится в письменной форме по экзаменационным билетам.

Дифференцированный зачет в 6-м (9-м) семестре студенты сдают после выполнения и защиты курсового проекта.

Дифференцированный зачет проводится в письменной форме.

### **6.1. Вопросы для подготовки к экзамену**

#### **1. Электрические контакты.**

Классификация контактов. Конструкции контактов. Физические явления в контакте. Переходное сопротивление и его зависимость от различных факторов. Условия выбора контактного нажатия. Нагрев контактов. Режимы работы контактов. Воздействие тока короткого замыкания на контакты. Сваривание контактов. Износ контактов, способы уменьшения износа. Параметры контактов. Зависимость переходного сопротивления контакта от силы нажатия. Контактные материалы.

#### **2. Электрическая дуга и ее гашение.**

Условия образования дуги при коммутации электрической цепи. Положительная и отрицательная роль дуги при размыкании контактов. Физические процессы в электрической дуге. Каналовая модель дуги. Вольтамперная характеристика дуги. Характер переходных процессов при отключении цепи и условия гашения дуги постоянного и переменного тока. Способы гашения дуги. Конструкции дугогасительных устройств низкого и высокого напряжения.

#### **3. Нагрев и охлаждение электрических аппаратов.**

Допустимые температуры нагрева и допустимые превышения температуры электрических аппаратов. Источники тепла в электрических аппаратах. Определение потерь. Поверхностный эффект и эффект близости. Способы передачи тепла. Коэффициент теплоотдачи. Нагрев в установившемся и переходных режимах. Уравнение теплового баланса. Нагрев аппарата при коротком замыкании, термическая устойчивость. Режимы работы электрического аппарата (длительный, кратковременный, повторно-кратковременный), допустимый эквивалентный ток.

#### **4. Электродинамические силы.**

Общие методы расчета электродинамических ЭДУ. Направления ЭДУ. ЭДУ между проводниками, в витке катушки, между контактами,

между проводником и ферромагнитным телом. ЭДУ в цепях переменного тока. Компенсация действие электродинамических сил в соединительных и коммутирующих контактах. Электродинамическая стойкость аппаратов.

#### **5. Магнитные цепи и электромагнитные механизмы.**

Применение электромагнитов (ЭМ) в электрических аппаратах, их конструкции и принцип действия. Основные положения теории магнитных цепей. Магнитные проводимости воздушных промежутков. Поток в рабочем зазоре и потоки рассеяния, распределение потоков по длине магнитной цепи. Задачи расчета магнитных цепей.

Расчет индуктивности катушки ЭМ с учетом рассеяния. Особенности магнитной цепи ЭМ переменного тока, векторная диаграмма, учет влияния короткозамкнутых обмоток и потерь в стали. Расчет катушек постоянного и переменного тока. Пересчет катушек с одного напряжения на другое.

Тяговые силы ЭМ постоянного и переменного тока. Согласование тяговой и механической характеристик ЭМ. Пульсация силы при переменном токе и устранение вибрации якоря с помощью короткозамкнутого витка.

Динамика ЭМ постоянного тока. Характер переходных процессов при срабатывании и отпуске ЭМ, методы расчета времени срабатывания и отпуская. Методы ускорения и замедления действия ЭМ. Особенности динамики ЭМ переменного тока.

#### **6. Электрические аппараты низкого напряжения.**

*Контакторы и магнитные пускатели.* Назначение, категории применения, конструкции, принцип действия, предъявляемые требования, основные параметры и характеристики. Схемы контакторов, нереверсивного и реверсивного пускателей. Выбор контакторов и пускателей.

*Автоматические выключатели.* Назначение, предъявляемые требования, устройство и принцип действия универсальных и установочных автоматов, виды расцепителей, роль механизма свободного расцепления. Быстродействующие автоматы. Характеристика, основные параметры, достоинства и недостатки. Выбор автоматов.

*Предохранители.* Назначение, предъявляемые требования, устройство, принцип действия, конструкции, времятоковая характеристика, обозначение на схемах. Основные параметры, технические данные, достоинства и недостатки. Выбор предохранителей.

*Электромагнитные и тепловые реле.* Назначение, принцип действия, конструкции, основные технические параметры и характеристики. Требования, предъявляемые к реле. Выбор реле. Схемы реле.

*Поляризованные реле.* Назначение, типы, конструкция и принцип действия, преимущества перед нейтральными реле. Способы управления.

Электромеханические реле времени с электромагнитным замедлением. Устройство, принцип замедления, способы регулировки выдержки времени, области применения.

*Герконовые реле.* Устройство и принцип действия герконов. Конструкции герконовых реле. Управление герконами с помощью постоянных магнитов. Преимущества и недостатки герконов.

*Датчики.* Классификация датчиков. Характеристики и параметры датчиков. Требования, предъявляемые к датчикам. Параметрические (резисторные, емкостные, индуктивные, трансформаторные) датчики. Генераторные (индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические, Холла) датчики. Назначение, устройство, принцип действия, примеры использования.

### **7. Электрические аппараты высокого напряжения.**

Высоковольтные выключатели, реакторы, трансформаторы тока и напряжения. Назначение, предъявляемые требования, устройство и принцип действия. Виды и конструкции. Параметры, характеристики, схемы включения, примеры использования, выбор.

### **8. Электронные аппараты.**

Классификация электронных аппаратов. Общие принципы создания силовых электронных аппаратов постоянного и переменного тока. Комбинированные (гибридные) контактно-полупроводниковые аппараты. Достоинства и недостатки электронных аппаратов по сравнению с контактными. Принципиальные схемы тиристорных коммутаторов постоянного тока. Тиристорный контактор постоянного тока. Электрическая схема и принцип действия тиристорного контактора переменного тока. Классификация твердотельных реле. Входные и структурные схемы твердотельных реле. Системы управления силовыми электронными аппаратами. Общая характеристика силовых электронных аппаратов высокого напряжения. Классификация электронных регуляторов переменного напряжения.

## **6.2. Образец экзаменационного билета**

Экзаменационный билет по дисциплине «Электрические и электронные аппараты» содержит два теоретических вопроса и один практический (задача).

Первый вопрос билета относится к первой части дисциплины «Основы теории электрических аппаратов», второй – ко второй части «Электрические аппараты систем автоматики, управления и энергетики».

Третий вопрос содержит условие задачи, которую требуется решить.

Ниже приведен образец вопросов экзаменационного билета.

### **БИЛЕТ № XXX**

1. Понятие контакта. Классификация контактов.
2. Реле времени с электромагнитным замедлением (назначение, область применения, классификация, требования, устройство, принцип действия, технические параметры и характеристики, достоинства и недостатки, обозначения, схемы включения, выбор аппарата).
3. Рассчитать значение установившейся температуры медного круглого окрашенного краской проводника диаметром  $d = 10$  мм, по которому протекает постоянный ток  $I = 600$  А. Температура окружающего воздуха  $\theta_0 = 40$  °С.