

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

**А.И. ГАРДИН**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**  
**КОМПЛЕКС УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Рекомендовано Ученым советом Нижегородского государственного  
технического университета им. Р.Е. Алексеева в качестве  
учебно-методического пособия для студентов заочной и дистанционной  
форм обучения по специальностям 140211 «Электроснабжение» и  
140205 «Электроэнергетические системы и сети»*

Нижегород 2008

УДК 621.31.031

**Гардин А. И. Электрические аппараты:** комплекс учебно-методических материалов / А.И. Гардин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2008. –172 с.

Изложены вопросы применения электрических аппаратов в системах электроснабжения промышленных предприятий: правила выполнения и анализа электрических схем с электрическими аппаратами, основы теории электрических аппаратов, конструкция электрических аппаратов, технические характеристики, выбор электрических аппаратов, использование электрических аппаратов низкого напряжения (до 1000 В). Приведены задания и варианты контрольных работ, методические указания по их выполнению, вопросы для проверки знаний.

Комплекс учебно-методических материалов предназначен для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» и 140205 «Электроэнергетические системы и сети» заочной и дистанционной форм обучения.

Рецензент доктор технических наук, профессор Г.Я. Вагин

Редактор Е.В. Комарова  
Компьютерная верстка А.А. Петров

Подписано в печать 30.06.2008. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,8. Уч. – изд. л.10,0. Тираж 300 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.  
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. К.Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е. Алексеева, 2008

© Гардин А. И., 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Пояснительная записка</b> .....	4
<b>Рабочая программа</b> .....	4
<b>Опорный конспект лекций</b> .....	12
<b>1. Общие сведения об электрических аппаратах</b> .....	12
1.1. Основные определения.....	12
1.2. Режимы работы электротехнических устройств.....	12
1.3. Классификация электрических аппаратов.....	13
1.4. Классификация электроустановок.....	16
1.5. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.....	17
1.6. Материалы, применяемые при изготовлении электрических аппаратов.....	19
<b>2. Правила выполнения и анализа электрических схем</b> .....	21
2.1. Условные буквенно-цифровые обозначения.....	21
2.2. Условные графические обозначения.....	24
2.3. Правила техники чтения электрических схем.....	35
<b>3. Режимы работы электроприемников и электрической сети</b> .....	38
3.1. Схемы включения электроприёмников.....	38
3.2. Нормальные и аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприёмников.....	47
<b>4. Основы теории электрических аппаратов</b> .....	50
4.1. Электродинамические усилия в электрических аппаратах.....	50
4.2. Нагрев электрических аппаратов.....	59
4.3. Электрические контакты в электрических аппаратах.....	69
4.4. Основы теории горения и гашения электрической дуги.....	81
4.5. Электромагнитные механизмы.....	92
<b>5. Контроль знаний</b> .....	110
5.1. Задание на контрольную работу.....	110
5.2. Методические указания к выполнению контрольной работы.....	117
5.3. Описание лабораторных работ.....	133
<b>Глоссарий</b> .....	139
<b>Библиографический список</b> .....	144
<b>Приложения</b> .....	145

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Цель преподавания дисциплины.** Электрические аппараты являются одним из основных средств электрификации и автоматизации процессов в промышленности и быту и представляют собой широкий класс электротехнических устройств, которые применяются на всех этапах появления электрической энергии: при ее производстве (выработке), преобразовании, передаче, распределении и потреблении.

Дисциплина является базовой для всех специальностей, по которым на кафедре «Электроэнергетика и электроснабжение» НГТУ им. Р. Е. Алексеева готовятся специалисты и магистры, ее цель – дать основной запас знаний по специальности и увязать ранее изученные общетехнические дисциплины с данным курсом и профилем специальности.

**Основные знания и умения, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины:**

- знание основ теории электрических аппаратов,
- знание назначения, принципов действия, технических характеристик и конструктивных особенностей электрических аппаратов,
- знание основных принципов поведения электрических аппаратов в различных режимах работы электрической сети,
- умение осуществлять выбор электрических аппаратов в системах электроснабжения на напряжении до 1000В,
- умение проводить контроль исправности и наладку электрических аппаратов в процессе эксплуатации.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ГОС ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 140200 «Электроэнергетика».

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела, темы	Заочная форма обучения					
		Всего часов	Аудиторные	Лекции	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Контрольная работа
1	Тема 1	3	0,5	0,5	–	2,5	2
2	Тема 2	5	1	1	–	4	2
3	Тема 3	5	0,5	0,5	–	4,5	1
4	Тема 4	41	10	6	4	31	
5	Тема 5	46	10	6	4	36	10
Итого		100	22	14	8	78	
Форма контроля знаний студента:		экзамен					

# ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

## Тема 1. Общие сведения об электрических аппаратах

Предмет и задачи курса. Общие определения и классификация электрических аппаратов. Роль электрических аппаратов при производстве, передаче и распределении электроэнергии. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам. Материалы, применяемые в аппаратостроении [1], [3,ч.2], [4].

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что изучает курс «Электрические аппараты»?
2. Определение электрического аппарата.
3. Классификация электрических аппаратов по назначению.
4. Классификация по исполнению защиты от воздействия окружающей среды.
5. Общие требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.
6. Требование к надежности электрического аппарата.
7. Зависимость интенсивности отказов электроаппаратов от времени эксплуатации.
8. Применение проводниковых материалов в аппаратостроении.
9. Применение магнитных материалов в аппаратостроении.
10. Применение изоляционных материалов в аппаратостроении.
11. Применение полупроводниковых материалов в аппаратостроении.

## Тема 2. Правила выполнения и анализа электрических схем

Классификация электрических схем. Обозначения электрических аппаратов и их элементов. Условные буквенно-цифровые обозначения (БЦО) в электрических схемах. Условные графические обозначения (УГО) в электрических схемах: устройства коммутационные и контактные соединения, линии, текстовая информация. Правила техники чтения электрических схем.

## Тема 3. Режимы работы электроприемников и электрической сети

Схемы включения электроприемников в сетях с различными режимами нейтрали источников. Нормальные и аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприемников.

## Тема 4. Основы теории электрических аппаратов

### *4.1. Электродинамические силы в электрических аппаратах*

Общие сведения об электродинамических усилиях (ЭДУ), возникающих в электрических аппаратах. Силы, действующие на проводник с током: в витке, в катушке, рядом с ферромагнитной массой. Электродинамические усилия при переменном токе. Понятие о механическом резонансе [1, гл.1], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Причины возникновения электродинамических усилий в электрических аппаратах.
2. Последствия воздействия ЭДУ на электрические аппараты.
3. Понятие электродинамической стойкости электрического аппарата.
4. Основные способы расчета ЭДУ.
5. Направление сил на линейные проводники с токами одинакового и противоположного направления.
6. ЭДУ в проводниках переменного сечения.
7. ЭДУ в проводниках, расположенных под углом друг к другу.
8. ЭДУ в кольцевом витке и между кольцевыми витками (в катушках).
9. ЭДУ между проводником с током и ферромагнитной массой.
10. Зависимость ЭДУ от времени при синусоидальном токе.
11. Соотношение между электромагнитными силами на постоянном и переменном токе
12. ЭДУ при трехфазном токе.
13. Понятие механического резонанса и его последствия.

#### ***4.2. Нагрев электрических аппаратов***

Причины, вызывающие нагрев электрических аппаратов. Особенности процесса нагрева электрического аппарата в установившихся и переходных режимах. Допустимые температуры нагрева проводников и электрических аппаратов [1, гл.2; 3, гл.4; 4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Причины нагрева электрических аппаратов.
2. Влияние нагрева на работу электрического аппарата. Нагрев деталей электрических аппаратов из проводниковых и диэлектрических материалов.
3. Способы передачи тепла от нагретого тела. Уравнение теплового баланса.
4. Тепловой баланс проводника в режиме длительного нагрева. Решение уравнения теплового баланса.
5. Постоянная времени нагрева. Общее понятие.
6. Изменение температуры проводника в кратковременном и повторно-кратковременном режиме.
7. Общее понятие продолжительности включения (ПВ).
8. Определение допустимого тока в длительном режиме и в режиме короткого замыкания. Тепловой импульс. Термическая устойчивость.

#### ***4.3. Электрические контакты в электрических аппаратах***

Определение электрического контакта и контактного сопротивления. Переходное сопротивление контакта. Факторы, влияющие на величину контактного сопротивления. Конструктивное выполнение контактов и условия их работы. Материалы, применяемые для контактных соединений. Герметичные контакты (герконы и герсиконы) [1, гл.3], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Понятие электрического контакта и контактного соединения. Классификация контактов по возможному перемещению.
2. Требования, предъявляемые к электрическим контактам.
3. Понятие контактного сопротивления, чем оно обусловлено?
4. От чего зависит величина контактного сопротивления? Классификация контактов в зависимости от формы контактирования.
5. Контактное сопротивление различных проводниковых материалов.
6. Опишите процесс спекания контактов в случае их окисления.
7. Схемное изображение коммутирующих контактов: размыкающие, замыкающие, с ручным возвратом, с выдержкой времени, проскальзывающие.
8. Изображение на принципиальных схемах контактов различных электрических аппаратов (автоматические выключатели, магнитные пускатели, рубильники, реле).
9. Применение болтовых соединений.
10. Неразмыкаемые контакты передвижных токоприемников и подвижных частей электрических аппаратов.
11. Основные конструкции контактов. Требования, предъявляемые к коммутирующим (разрывным) контактам. Классификация разрывных контактов по конструктивному исполнению.
12. Особенности работы контактов при включении.
13. Особенности работы контактов при отключении.
14. Причины износа электрических контактов при размыкании и замыкании.
15. Понятие "провала" контактов.
16. Выполнение и преимущества самоустанавливающихся контактов.
17. Выполнение и преимущества перекачиваемых контактов.
18. Контакты с двумя разрывами на фазу.
19. Выполнение и преимущества сдвоенной контактной системы.
20. Розеточная контактная система. Изображение в электрических схемах.
21. Материалы, применяемые для изготовления контактов.
22. Магнитоуправляемые герметичные контакты (герконы). Конструкция и область применения.

#### ***4.4. Основы теории горения и гашения электрической дуги***

Физические процессы, протекающие при возникновении дугового разряда. Способы гашения дуги. Электрическая дуга постоянного тока и условия ее гашения. Гашение дуги переменного тока при активной, индуктивной и емкостной нагрузке [1, гл.4], [3 ч. 1, гл.5], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Условия возникновения дугового разряда.
2. Два вида электронной эмиссии, сопровождающей дуговой разряд.
3. Условия гашения дуги.
4. Особенности гашения дуги низкого и высокого напряжения.

5. Распределение напряжения по длине дуги.
6. Статическая вольт-амперная характеристика дуги на постоянном токе.
7. Семейство вольт-амперных характеристик при различной длине дуги.
8. Уравнение баланса напряжений в электрической цепи с дугой.
9. Точки устойчивого и неустойчивого горения дуги.
10. Возникновение перенапряжений при гашении дуги постоянного тока.
11. Способы уменьшения перенапряжений.
12. Вольт-амперная характеристика дуги на переменном токе.
13. Процесс гашения дуги при отключении активной и индуктивной нагрузки.
14. Движение дуги в магнитном поле. Магнитное дутье.
15. Влияние скорости движения дуги на ее гашение.
16. Гашение дуги в продольных щелях, в дугогасительной решетке.
17. Выполнение и материалы дугогасительных решеток.
18. Гашение дуги за счет растяжения и охлаждения дуги.

#### **4.5. Электромагнитные механизмы**

Особенности расчета магнитных цепей электроаппаратов на постоянном и переменном токе. Тяговые характеристики электромагнитных механизмов (ЭММ). Способы замедления и ускорения срабатывания электромагнитных механизмов. Расчет обмоток катушек электромагнитных механизмов. Пересчет обмоточных данных [1, гл.5], [3; ч.1], [4].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Применение электромагнитных механизмов.
2. Основные части электромагнитного механизма.
3. Особенности выполнения магнитопроводов на переменном токе.
4. Назначение короткозамкнутых витков на магнитопроводах переменного и постоянного тока.
5. Классификация электромагнитных механизмов.
6. Статическая тяговая характеристика электромагнитного механизма.
7. Коэффициент возврата и способы его регулирования.
8. Динамическая характеристика ЭММ при срабатывании.
9. Составляющие времени срабатывания и отпускания ЭММ.
10. Способы замедления срабатывания и отпускания ЭММ.
11. Конструктивное выполнение катушек ЭММ.

### **Тема 5. Электрические аппараты низкого напряжения в схемах электроснабжения**

#### **5.1. Неавтоматические аппараты управления**

Рубильники, выключатели нагрузки, пакетные выключатели, ключи управления, командоаппараты, кнопки, кнопочные станции, сопротивления, реостаты [1, гл.9, 16], [3, ч.2, гл.3, 5, 7], [4].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение рубильников. Конструкция рубильников [1, рис.16-1].
2. Назначение и типы пакетных выключателей.

3. Устройство пакетного выключателя [1, рис.16-4].
4. Назначение кнопок и станций управления.
5. Устройство кнопки управления [3, рис.7-1].
6. Назначение универсальных переключателей.
7. Устройство переключателя УП-5400 [1, рис.9-10].
8. Назначение и конструкция рамочного резистора [1, рис.9-3].
9. Назначение и конструкция чугунного резистора [1, рис.9-15].
10. Назначение реостатов и требования предъявляемые к ним.
11. Назначение и схема пускового реостата [3, рис.5-3].
12. Выключатели нагрузки.

### **5.2. Предохранители**

Предохранители, конструкции, принципы действия. Способы гашения дуги [1, гл.16], [2], [3 ч.2, гл.4, 8], [4].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение аппаратов защиты.
2. Плавкие предохранители: назначение, технические параметры.
3. Назначение и работа предохранителя ПР-2 [1, рис.16-3].
4. Назначение и работа предохранителя ПН-2 [1, рис. 16-4].
5. Назначение и параметры быстродействующих предохранителей.
6. Устройство и работа предохранителя ПБП [3, рис.4-6].
7. Гашение дуги в предохранителях.
8. Защитные время-токовые характеристики плавких вставок и их выбор.
9. Обеспечение селективности при защите сети предохранителями.
10. Достоинства и недостатки предохранителей.
11. Построение защитной характеристики предохранителя на бланке карты селективности.

### **5.3. Автоматические воздушные выключатели (АВ)**

Конструкция. Основные узлы. Расцепители. Максимальные расцепители тока (МРТ) [1, гл.17], [2], [3 ч.2, гл.4, 8], [4].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. АВ, назначение, основные технические параметры.
2. Преимущества и недостатки АВ.
3. Основные узлы АВ [3, рис.8-2; 1, рис,17-1].
4. Блок-схема взаимодействия частей АВ [3, рис.8-1; 1, рис.17-1].
5. Классификация максимальных токовых расцепителей АВ. Принципиальная схема включения комбинированных и полупроводниковых расцепителей.
6. Механизм свободного расцепления [3, рис, 8-2].
7. Классификация расцепителей напряжения, назначение. Принципиальная схема их включения.
8. Основные узлы АВ. Контактная система, ее назначение, конструкция, применяемые материалы. Выполнение токоограничения у выключателей путем электромагнитного отброса контактов при сверхтоках.

9. Основные узлы АВ. Дугогасительная система, ее назначение, конструкция. Принцип образования магнитного поля для эффективного дугогашения.
10. Токоограничивающие АВ. Область применения. Графическое пояснение.
11. Применение и достоинства АВ с полупроводниковыми расцепителем тока.
12. Собственное и полное время отключения АВ. Нормальные выключатели и выключатели с выдержкой времени.
13. Классификация АВ по быстрдействию и собственному времени отключения.
14. Построение защитной характеристики АВ на бланке карты селективности.

#### **5.4. Автоматические аппараты управления**

Контакторы постоянного и переменного тока, магнитные пускатели, тиристорные контакторы [1, гл.8], [3 ч.2, гл.9].

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение и основные конструктивные узлы контактора.
2. Назначение и устройство пускателя типа ПМЛ.
3. Назначение и устройство пускателя типа ПМА.
4. Устройство контактора типа КТ6000 [1, рис.8-4].
5. Особенности выполнения контактных систем пускателей ПМЛ и ПМА.
6. Особенности исполнения контакторов на постоянном и переменном токе.
7. Назначение и типы тепловых реле.
8. Устройство теплового реле типа РТЛ, РТТ.
9. Характеристики тепловых реле и способы их регулировки.
10. Согласование характеристик теплового реле и защищаемого объекта.
11. Схема защиты и управления асинхронным двигателем [1, рис. 8-11, 8-13].
12. Назначение и типы тиристорных контакторов.
13. Работа схемы тиристорного контактора [1, рис.8-14].
14. Осциллограмма тока и напряжения при работе тиристорного контактора.

#### **5.5. Электрические реле**

Реле тока, реле напряжения, реле времени, промежуточные реле. Полупроводниковые реле [1, гл.9-11, 12], [3 ч.1, гл.4].

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение и классификация релейных аппаратов.
2. Блок-схема функциональных органов реле.
3. Основные параметры, характеризующие релейный аппарат.
4. Назначение и составные части реле времени.
5. Параметры и устройство пневматического реле времени [1,рис.10-5].
6. Параметры и устройство моторного реле времени [1, рис. 10-6].
7. Параметры и устройство реле времени РЭВ-800 [1, рис.10-1].
8. Преимущества полупроводниковых реле.
9. Регулирование времени срабатывания реле РЭВ-800.
10. Составляющие полного времени срабатывания и отпускания электромагнитного реле.

### **5.6. Логические элементы**

Контактные и бесконтактные элементы. Законы и тождества алгебры логики. Построение схем по логическим уравнениям [1, гл.12].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Реализация логических функций "ИЛИ", "И", "НЕ", "Задержка" на контактных элементах.
2. Функции "Память", "И-НЕ" на контактных элементах.

### **5.7. Бесконтактная силовая аппаратура**

Контакторы, преобразователи. Гибридные электрические аппараты. Сравнительная оценка контактной и бесконтактной аппаратуры [3 ч.2, гл.11-14].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение и преимущества силовых бесконтактных аппаратов по сравнению с контактными аппаратами.
2. Применение силовых бесконтактных аппаратов для систем автоматического регулирования.
3. Применение силовых бесконтактных аппаратов для коммутационных целей.
4. Работа цепочки встречно-параллельного включения тиристорov на однофазную нагрузку. Осциллограмма тока и напряжения.
5. Особенность защиты тиристорных преобразователей.
6. Работа контактора с бездуговой коммутацией.
7. Электрическая схема тиристорного пускателя переменного тока.
8. Тиристорные управляемые пускатели (тиристорные источники питания) переменного тока.
9. Электрическая схема тиристорного пускателя постоянного тока.
10. Тиристорные управляемые источники питания постоянного тока.
11. Область использования контактной и бесконтактной аппаратуры.
12. Развитие контактной аппаратуры, гибридные электрические аппараты.
13. Устройства плавного пуска.

### **5.8. Низковольтные комплектные устройства (НКУ)**

НКУ распределения энергии. НКУ защиты и управления. Основные отечественные производители НКУ. Зарубежные производители НКУ.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Исполнение и назначение НКУ.
2. Конструкции НКУ распределения энергии.
3. Конструкции НКУ защиты и управления.
4. Устройства защитного отключения (УЗО) в трехфазных и однофазных сетях.
5. Устройства защиты от импульсных перенапряжений.
6. Отечественные производители НКУ.
7. Зарубежные производители НКУ.