

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для  
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

**Б1.В.08 Инновационное электротехническое оборудование**

**Направление подготовки (специальность) 35.04.06 Агроинженерия**  
**Профиль образовательной программы Электротехнологии и электрооборудова-**  
**ние в сельском хозяйстве**  
**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Организация самостоятельной работы .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних заданий .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов .....</b>	<b>7</b>
<b>4. Методические рекомендации по подготовке к занятиям .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Практическое занятие 1. Классификация электротехнического оборудования.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. Практическое занятие 2 . Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения – низковольтные (до 1000 В).....</b>	<b>26</b>
<b>4.3. Практическое занятие 3. Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения – высоковольтное (более 1000 В).....</b>	<b>26</b>
<b>4.4. Практическое занятие 4. Современное электротехническое оборудование.....</b>	<b>26</b>
<b>4.5. Практическое занятие 5. Автоматические выключатели. Контакторы, магнитные пускатели. Реле.....</b>	<b>26</b>
<b>4.6. Практическое занятие 6. Командоаппараты, магнитные станции, кнопки, выключатели, переключатели.....</b>	<b>26</b>
<b>4.7. Практическое занятие 7. Бесконтактные аппараты Предохранители плавкие. Резисторы и реостаты силовые.....</b>	<b>26</b>
<b>4.8. Практическое занятие 8. Силовые конденсаторы и конденсаторные установки.....</b>	<b>26</b>
<b>4.9. Практическое занятие 9. Масляные выключатели. Электромагнитные выключатели.....</b>	<b>27</b>
<b>4.10. Практическое занятие 10. Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ.....</b>	<b>27</b>
<b>4.11. Практическое занятие 11. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ.....</b>	<b>27</b>
<b>4.12. Практическое занятие 12. Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ.....</b>	<b>27</b>
<b>4.13. Практическое занятие 13. Инновационное электротехническое оборудование.....</b>	<b>27</b>
<b>4.14. Практическое занятие 14. Инновационное электротехническое оборудование.....</b>	<b>27</b>
<b>4.15. – 4.16. Практическое занятие 15-16. Основы рационального выбора использования электрооборудования.....</b>	<b>27</b>

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## 1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельное изучение вопросов (СИВ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4	5	6	7
1.	<b>Тема 1</b> Введение. Основные сведения электротехнического оборудования	-	-	3	3	1
2.	<b>Тема 2</b> Классификация электротехнического оборудования	-	-	4	2	2
3.	<b>Тема 3</b> Автоматические выключатели, контакторы, магнитные пускатели, реле, командоаппараты, магнитные станции	-	-	3	3	2
4.	<b>Тема 4</b> Бесконтактные аппараты, предохранители плавкие, резисторы и реостаты силовые конденсаторы и конденсаторные установки	-	-	4	4	2
5.	<b>Тема 5</b> Масляные выключатели Электромагнитные выключатели Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ.	-	-	3	3	2
6.	<b>Тема 6</b> Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ	-	-	3	4	2
7.	<b>Тема 7</b> Современное электротехническое Оборудование	-	-	3	3	3
8.	<b>Тема 8</b> Основы рационального выбора использования электрооборудования	-	-	3	4	3

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ**

### **2.1 Темы индивидуальных домашних заданий**

1. Введение. Основные сведения электротехнического оборудования
2. Классификация электротехнического оборудования
3. Электротехническое оборудование до 1000 В
4. Автоматические выключатели, контакторы, магнитные пускатели, реле, командоаппараты, магнитные станции
5. Бесконтактные аппараты, предохранители плавкие, резисторы и реостаты, силовые конденсаторы и конденсаторные установки
6. Электротехническое оборудование высокого напряжения
7. Масляные выключатели. Электромагнитные выключатели. Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ.
8. Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ
9. Современное электротехническое оборудование. Электробезопасность
10. Современное электротехническое оборудование
11. Основы рационального выбора использования электрооборудования

### **2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий**

1. Классификация и принцип действия групп электротехнического оборудования.
2. Условные обозначения основных элементов электротехнического оборудования на принципиальных электрических схемах.
3. Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения
4. Электротехническое оборудование по величине рабочего или коммутируемого тока
5. Электротехническое оборудование по выполняемой функции.
6. Обзор электротехнического оборудования (до 1000 В).
7. Обзор электротехнического оборудования (более 1000 В).
8. Обзор современного электротехнического оборудования.
9. Автоматические выключатели. Контакторы. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
10. Магнитные пускатели. Реле. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы

11. Командоаппараты, магнитные станции. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
12. Кнопки, выключатели, переключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
13. Бесконтактные аппараты Предохранители плавкие. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
14. Резисторы и реостаты силовые. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
15. Силовые конденсаторы. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
16. Конденсаторные установки. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
- 17.. Масляные выключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы
18. Электромагнитные выключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
19. Разъединители внутренней установки 10 кВ. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
20. Разъединители наружной установки 10 кВ. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
21. Требования к коммутационной аппаратуре, конденсаторам и конструкциям при комплектации конденсаторных установок
22. Необходимые сведения при монтаже и эксплуатации комплектных конденсаторных установок.
23. Силовые трансформаторы, распределительного устройства РУ.
24. Устройство автоматического управления и защиты и вспомогательные сооружения.
25. Втычные устройства защиты. Датчики контроля и автоматические выключатели сети. Высоковольтный вакуумный выключатель. Принципы работы и технические характеристики.
26. Модульная установка для катодной защиты. Извещатель пожарный дымовой – оптоэлектронный. Принципы работы и технические характеристики.

27. Устройство охлаждения тепловыделяющих элементов компьютера и компьютерный стол с охлаждающим устройством. Принципы работы и технические характеристики.
28. Трубчатый элемент для батарей высокотемпературных электрохимических устройств.
29. Основные технические и организационные мероприятия по безопасному проведению работ в действующих электроустановках
30. Защитные средства.
31. Защитное заземление и защитное зануление.
32. Вакуумный выключатель ВНМ10.
33. Реклоузеры.
34. СИП - Самонесущий изолированный провод.

### **2.3 Порядок выполнения заданий**

1. Рассмотрение вопроса с использованием литературных источников.
2. Составление доклада.
3. Подготовка презентации.
4. Защита доклада.

### **2.4 Пример выполнения задания**

- Этапы выполнения задания - Введение. Основные сведения электротехнического оборудования.
- Подбор и изучение основных источников по теме (как и при написании реферата рекомендуется использовать не менее 8 - 10 источников).
  - Составление библиографии.
  - Обработка и систематизация материала. Подготовка выводов и обобщений.
  - Разработка плана доклада.
  - Написание.
  - Публичное выступление с результатами исследования.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

#### 3.1. Электротехническое оборудование по выполняемой функции.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

1. *Электротехническое оборудование* - это комплекс электротехнических устройств, предназначенных для производства, передачи, преобразования в другие виды, потребления и распределения электроэнергии.

Электротехническое оборудование используется не только в промышленном секторе но и в быту, входит в состав практически всех инженерных систем. Существует множество видов электротехнического оборудования, которые подразделяются в первую очередь в назначении, исполнении и технических параметрах.

Существует два основных подтипа электротехнического оборудования:

*Низковольтное:* автоматические выключатели, УЗО, диф. автоматы, контакторы, предохранители, изоляторы, розетки, выключатели, лампы, трансформаторы связи, пускорегулирующая аппаратура;

Главное отличие низковольтных приборов в том, что напряжение сети от которой они работают, не превышает 1000 вольт.

*Высоковольтное:* трансформаторы, выключатели, ограничители, реакторы, предохранители, изоляторы, разъединители;

Основное предназначение высоковольтного оборудования в выполнении ряда функций тестирования электрооборудования, а также решении измерительных задач в промышленной энергетике и энергоснабжении различных промышленных объектов.

#### 2. Функциональное назначение электротехнического оборудования

Электротехническое оборудование - это комплекс взаимодействующих и дополняющих друг друга:

- \* механизмов;
- \* машин;
- \* приборов;
- \* трансформаторов;
- \* КИПиА;
- \* кабельно-проводниковой продукции;
- \* устройств защиты и сигнализации, задействованных в единой технологической схеме.

Электрическое оборудование предназначено для:

- \* производства;
- \* передачи;
- \* распределения;
- \* преобразования электрической энергии в другие виды.

При необходимости электрическое оборудование способно изменять вид и силу тока, напряжение, частоту.

Электрическое оборудование входит в состав буквально всех инженерных систем. Простейшим примером электротехнического оборудования может служить выключатель в системе освещения.

Электротехническое оборудование широко применяется не только во всех сферах промышленности, но и в быту. Без электротехнического оборудования сегодня невозможно даже представить существование ни одной семьи. Это оборудование обеспечивает работу:

- \* системы освещения;
- \* холодильников;
- \* телевизоров и компьютеров;

- \* стиральных машин;
- \* климатической техники.

На промышленных предприятиях применение электротехнического оборудования позволяет обеспечить:

- \* проведение производственных процессов согласно режимной карте;
- \* выпуск экономически эффективной и экологически безопасной продукции;
- \* безопасное проведение работ.

### 3. Условные обозначения электротехнического оборудования

Условные обозначения электротехнического оборудования

Обозначение	Наименование
	Выключатель одноклавишный
	Выключатель двухклавишный
	Переключатель на два направления одноклавишный
	Трансформатор понижающий малой мощности
	Люстра
	Светильник встроенный потолочный
	Лампа дневного света
	Бра
	Розетка штепсельная для открытой установки со степенью защиты IP20–IP23 двухполюсная одинарная
	Розетка штепсельная для открытой установки со степенью защиты IP20–IP23 двухполюсная двоясная
	Розетка штепсельная со степенью защиты IP44–IP55 двухполюсная с защитным контактом, пылевлагозащитная.
	Розетка антенная
	Вывод электропровода
	Розетка телефонная
	Розетка выделенной линии интернет
	Шкаф, ящик управления
	Звонок
	Датчик движения
	Видеодомофон
	Терморегулятор
	Светильник с лампой накаливания для специального освещения (световой указатель).
	Вентилятор
	Водонагреватель

888dn.8dn.ru

### 3.2. Обозначение основных элементов электротехнического оборудования на принципиальных электрических схемах.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

#### 1. Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения.

Электротехническое оборудование классифицируют по различным признакам:

- 1) по величине рабочего напряжения - низковольтные (до 1000 В и высоковольтные (более 1000 В).



*Низковольтное:* автоматические выключатели, УЗО, диф. автоматы, контакторы, предохранители, изоляторы, розетки, выключатели, лампы, трансформаторы связи, пускорегулирующая аппаратура;

Главное отличие низковольтных приборов в том, что напряжение сети от которой они работают, не превышает 1000 вольт.

*Высоковольтное:* трансформаторы, выключатели, ограничители, реакторы, предохранители, изоляторы, разъединители;

Основное предназначение высоковольтного оборудования в выполнении ряда функций тестирования электрооборудования, а также решении измерительных задач в промышленной энергетике и энергоснабжении различных промышленных объектов.

## *2. Электротехническое оборудование по величине рабочего или коммутируемого тока*

По величине рабочего или коммутируемого тока — слаботочные (аппараты управления, защиты, сигнализации) и силовоточные, используемые в силовых цепях.

Первая группа — силовоточные производства, выпускающие сравнительно дорогостоящую продукцию промышленного назначения (оборудование для выработки электроэнергии — генераторы; ее передачи — кабели; для преобразования электроэнергии — трансформаторы, выпрямители; для преобразования электроэнергии в механическую — электродвигатели разной мощности). Промышленное назначение имеет изготовление электротермического оборудования для электросварки, электропечей для получения металлов и т.д. Производство силовоточного оборудования — материалоемкое, использует большое количество цветных металлов (медь, алюминий, ртуть), специальных сортов стали, синтетических смол и пластмасс. Это производство наиболее наукоемкое в отрасли, требует сложного оборудования для своего изготовления. Большая часть силовоточных изделий — штучная продукция, вырабатывается по заказам (мощные генераторы, трансформаторы, электропечи в количестве лишь нескольких тысяч единиц в мире), только средние и мелкие электродвигатели выпускаются серийно в массовых количествах. Производство силовоточного оборудования ведется на средних и крупных, хорошо оснащенных техническими средствами предприятиях.

Вторая группа — слаботочные производства, дают массовую и, как правило, дешевую продукцию для широкого использования во всех отраслях народного хозяйства и в быту. К ней относится изготовление светотехнических изделий (лампы накаливания, люминесцентные и др.), электроустановочные изделия (выключатели, розетки, патроны для ламп и т.д.), химические источники получения тока (аккумуляторы, элементы), специфические вспомогательные виды оборудования: изоляторы, Электроугли и др. Очень большое значение для данной группы производств имело увеличение выпуска бытовой аппаратуры длительного пользования: домашние холодильники, морозильники, кондиционеры, стиральные и посудомоечные машины, пылесосы, вентиляторы, электропечи, микроволновые печи. Эта сравнительно дорогостоящая бытовая техника имеет очень широкий рынок сбыта. Она изготавливается в мире в десятках миллионов единиц каждого вида и выпуск ее продолжает расти. Производство слаботочной продукции по большинству ее видов технически более простое, менее материалоемкое, давно и хорошо освоено. Оно, как правило, сводится к простым сборочным операциям, где не требуется высокой квалификации и широко используется женская рабочая сила. Изделия слаботочных производств изготавливаются как на малых, часто кустарных предприятиях, так и на крупных (например, холодильники на заводах с выпуском десятков и даже сотен тысяч штук). Это дает возможность разной территориальной организации производства по странам и регионам мира.

### **3.3. Магнитные пускатели. Реле. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

*1. Автоматические выключатели (автоматы) низкого напряжения (до 1500 В), контакторы, магнитные пускатели.*

Автоматические выключатели (автоматы) низкого напряжения (до 1500 В) предназначены для автоматической защиты электрических сетей и оборудования от аварийных режимов (токов короткого замыкания, токов перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока, возникновения магнитного поля мощных генераторов в аварийных условиях и др.), а также для нечастой коммутации номинальных токов (6-30 раз в сутки). Иногда автоматом можно производить редкий запуск и останов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Для обеспечения селективной (избирательной) защиты в автоматах предусматривается возможность регулирования уставок по току и по времени. Быстродействующие автоматы снижают время срабатывания и ограничивают отключаемый ток сопротивлением возникающей электрической дуги в автомате.

Контакторы, магнитные пускатели.

В промышленности и мелкомоторном секторе, гражданском и коммерческом строительстве, задачи связанные с пуском и остановкой электродвигателей, а также с дистанционным управлением электрическими цепями возложены на контакторы и магнитные пускатели. Данные устройства применяются там, где необходимы частые пуски либо коммутация электрических устройств с большими токами нагрузки.

Контактор - это дистанционно управляемый коммутационный аппарат, позволяющий коммутировать мощные (в том числе индуктивные) нагрузки как переменного, так и постоянного тока. Отличительной особенностью электромагнитных контакторов, по сравнению с близкими к ним электромагнитными реле является то, что контакторы разрывают электрическую цепь в нескольких точках одновременно, в то время как электромагнитные реле обычно разрывают цепь только в одной точке.

Пускатель электромагнитный (магнитный пускатель) — низковольтное электромагнитное (электрохимическое) комбинированное устройство распределения и управления, предназначенное для пуска электродвигателя, обеспечения его непрерывной работы, отключения питания, защиты электродвигателя и подключенных цепей, и иногда для реверсирования направления его вращения.

Пускатель обычно представляет собой модифицированный контактор, он может быть укомплектован дополнительными устройствами таким как тепловое реле для аварийного отключения двигателя, дополнительной слаботочной контактной группой или группами, используемых в цепях управления и/или кнопкой пуска. Иногда пускатели снабжаются устройством аварийного отключения при выпадении (обрыве) одной из фаз трёхфазной сети питания трёхфазных электродвигателей.

*2. Реле, командоаппараты, магнитные станции.*

Релé (фр. relais) — электрическое или электронное устройство (ключ), предназначенное для замыкания или размыкания электрической цепи при заданных изменениях электрических или неэлектрических входных воздействий.

Обычно под этим термином подразумевается электромагнитное реле — электрохимическое устройство, замыкающее и/или размыкающее механические электрические контакты при подаче в обмотку реле электрического тока, порождающего магнитное поле, которое вызывает перемещения ферромагнитного якоря реле, связанного механически с контактами и последующее перемещение контактов коммутирует внешнюю электрическую цепь.

Часто реле также называют самые различные устройства, замыкающие или размыкающие контакты при изменении некоторой, не обязательно электрической величины. Это, например, устройства, чувствительные к температуре (тепловые реле), освещённости (фотореле), уровню звукового давления (акустические реле) и др. Также, часто реле называют различные таймеры, например, таймер указателя поворота автомобиля, таймеры включения/выключения различных приборов и устройств, например, бытовых приборов (реле времени).

Командоаппарат - электрический аппарат для различного рода переключений электрических цепей в системах управления объектами или технологическими процессами. Простейшие командоаппараты - кнопки управления, концевые выключатели, контроллеры. В автоматических устройствах применяются программные командоаппараты.

Магнитные станции управления представляют собой комплекты установленных на общей конструкции аппаратов управления и приборов, работающих на электромагнитном принципе ( реле, контакторы) и электрически связанных между собой по - определенной схеме, и предназначены в комбинации с внешними командными и блокировочными аппаратами для дистанционного автоматизированного управления электроустановками, а также для их защиты. Во многих случаях в состав магнитной станции входят плавкие предохранители, сопротивления и др.. Например, в состав магнитной станции управления электроприводом экскаватора СЭ-3 ( с ковшем вместимостью 3 м<sup>3</sup>) входят 26 контакторов, 12 предохранителей и большое число специальных сопротивлений. [1]

Магнитные станции управления широко используются для; поверхностных и подземных электроустановок горнодобывающих предприятий. [2]

Магнитная станция управления представляет собой герметически закрывающийся металлический ящик, в котором смонтированы щит с рубильником, реверсивный магнитный пускатель П-213, реле тока ИТ-81-11. ВТ-380 / 6 в для сигнальных ламп, трехкнопочный пост управления электродвигателем и три сигнальные электролампы, сообщающие о закрытии и открытии превентера и о неполадках в нем, мешающих выполнению этих операций.

#### **3.4. Конденсаторные установки. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

##### *1. Бесконтактные аппараты, предохранители плавкие*

Электрический предохранитель — компонент электрических и радиоэлектронных устройств, предназначенный для защиты оборудования и приборов от повреждений при их неисправностях или для защиты питающей сети от аварийных электрических токов, возникающих при авариях и отказах, неправильного включения, ошибок монтажа.

Предохранитель включается последовательно с потребителем электрического тока и разрывает цепь тока при превышении им номинального тока, — тока, на который рассчитан предохранитель.

По принципу действия при разрыве тока в защищаемой цепи предохранители разделяются на четыре класса — плавкие, электромеханические, электронные и использующие нелинейные обратимые свойства по изменению сопротивления после воздействия экстратока у некоторых проводящих полупроводниковых материалов (самовосстанавливающиеся предохранители).

В плавких предохранителях при превышении тока выше номинального происходит разрушение токопроводящего элемента предохранителя (расплавление,

испарение), традиционно этот процесс называют «перегоранием» или «сгоранием» предохранителя.

Автоматический выключатель защиты сети снабжён датчиками протекающего тока (электромагнитными и/или тепловыми), при превышении тока сверх номинального, разрывают цепь размыканием контактов, обычно, движение контактов на размыкание производится посредством предварительно взведённой пружины.

В электронных предохранителях защищаемую цепь разрывают бесконтактные ключи.

В самовосстанавливающихся предохранителях, при превышении тока, на несколько порядков увеличивается удельное электрическое сопротивление полупроводникового материала токопроводящего элемента предохранителя, что снижает ток цепи, после снятия тока и их охлаждения восстанавливают своё сопротивление.

Под термином электрический предохранитель или, обычно, предохранитель, подразумевается наиболее часто используемый и дешёвый плавкий предохранитель.

Предохранители повсеместно используются для защиты любого электрооборудования, например, для исключения перегрева проводов бытовой электрической сети в случае коротких замыканий. Отсутствие предохранителей или неграмотное их применение может привести к пожару

Физические принципы работы плавкого предохранителя

В плавких предохранителях в качестве разрушаемого экстратоками токопроводящего элемента применяются чистые металлы (медь, цинк, свинец, железо и др.) и некоторые сплавы — (ковар, сталь, др.).

Все чистые металлы и практически все металлические сплавы имеют положительный коэффициент термического сопротивления, то есть при повышении температуры сопротивление плавкого элемента увеличивается. Именно положительный температурный коэффициент сопротивления обуславливает защитные свойства плавкого предохранителя. При токах, ниже защитного номинального тока, тепло, выделяемое в плавком элементе, стационарно рассеивается в окружающую среду. При этом температура плавкого элемента устанавливается немного выше температуры среды. При токах, выше номинального тока, в плавком элементе развивается тепловая неустойчивость — повышение температуры ведёт к увеличению активного сопротивления плавкого элемента, что вызывает ещё больший разогрев его, так как мощность на ветви в последовательной электрической цепи есть  $I^2 \cdot R$ . Повышение сопротивления ведёт к увеличению тепловыделения, тепловыделение повышает температуру и увеличивает выделяющуюся мощность, что снова увеличивает температуру. При этом процесс развивается лавинообразно — температура плавкого элемента начинает превышать температуру его плавления что вызывает механическое разрушение нити предохранителя и разрыв электрической цепи.

Также важным электрическим параметром плавкого предохранителя, помимо номинального тока, является так называемый параметр защиты, определяемый по времени — токовой характеристике.

Экспериментально установлено, что область токов, вызывающих «сгорание» плавкого предохранителя лежит выше линии на графике ток — время срабатывания (сгорания, разрыва цепи), уравнение этой линии в декартовых координатах удовлетворяет условию:

$$I^2 \cdot t = k$$

$I$  — ток,  $t$  — время сгорания,  $k$  — параметр, в широком диапазоне изменения токов постоянен.

Таким образом, чем больше ток, тем ниже время «сгорания» плавкого предохранителя. Параметр  $k$  часто называют «защитным фактором» или «параметром защиты». Приведённое уравнение не выполняется при очень больших токах, так как разлёт и деионизация плазмы в электрической дуге испарившегося защитного плавкого элемента занимает конечное время. Также, при малых токах, ниже номинального защитного тока время «сгорания» бесконечно.

В профессиональных спецификациях на предохранители параметр  $k$  обычно явно указывается.

Конструкции плавких предохранителей и их держатели

Плавкий предохранитель состоит из плавкой вставки и патрона, в который устанавливается плавкая вставка, которая может заменяться при перегорании (у предохранителей на малые токи плавкая вставка не сменная, конструкция является одноразовой и при срабатывании производится замена целиком предохранителя в держателе).

Плавкая вставка внутри патрона помещается в специальную дугогасящую среду (например кварцевый песок), которая при срабатывании интенсивно охлаждает и деионизирует электрическую дугу, не давая выйти в наружу через корпус. В некоторых типах предохранителей имеется корпус из газогенерирующего материала (например фибры), при термическом действии дуги происходит интенсивное газовыделение с гашением внутри корпуса. В предохранителях на малые токи плавки вставки могут находиться в среде инертных газов (для исключения окисления плавкой вставки со временем: находящаяся под током плавкая вставка нагревается и интенсивнее происходит процесс окисления).

Предохранители для защиты полупроводниковых элементов (быстродействующие) имеют дополнительные элементы конструкции для ускорения срабатывания: при этом перерыв электрической цепи внутри предохранителя производится электродинамическими силами и натянутыми пружинами. Ускорение срабатывания предохранителя производится также использованием металлургического эффекта.

Различается номинальный ток плавкой вставки и номинальный ток патрона (для одного патрона выпускаются несколько номиналов вставок одинакового габарита и на разный ток).

Разновидности плавких предохранителей

Различные бытовые предохранители в керамическом корпусе.

Разрушающийся защитный элемент плавкого предохранителя или некоторую сменную конструкцию с этим элементом обычно называют вставкой. Вставка сменная, заменяется на новую после акта срабатывания.

Для защиты электрических цепей устройствами неоднократной защиты, экономически целесообразно применять автоматические выключатели — восстанавливающие электрическую цепь манипуляцией (автоматические выключатели).

В слаботочных низковольтных цепях применяются самовосстанавливающиеся предохранители.

Бесконтактные аппараты - устройство для включения или отключения тока в электрической цепи не механическим замыканием (размыканием) контактов, а скачкообразным изменением сопротивления управляемого элемента (магнитные усилители, некоторые полупроводниковые приборы и др.), включённого в цепь последовательно с нагрузкой. При положении "отключено" через Б. э. а. протекает незначительной силы ток вследствие высокого сопротивления элемента в закрытом состоянии; в положении "включено" сопротивление резко уменьшается (но всё же остаётся значительно больше сопротивления заменяемого контактного соединения). Преимуществом Б. э. а. перед контактными является их высокая надёжность и экономичность. Б. э. а. применяют в силовых устройствах коммутации и защиты электрических установок, в бесконтактных системах управления и регулирования и др.

## *2. Резисторы и реостаты*

Реостат (потенциометр, переменное сопротивление, переменный резистор; от др.-греч. ῥέος «поток» и στατός «стоящий») — электрический аппарат, изобретённый Иоганном Христианом Поггендорфом, служащий для регулировки силы тока и напряжения в электрической цепи[1] путём получения требуемой величины сопротивления. Как правило, состоит из проводящего элемента с устройством регулирования электрического сопротивления. Изменение сопротивления может осуществляться как плавно, так и ступенчато.

Изменением сопротивления цепи, в которую включен реостат, возможно достичь изменения величины тока или напряжения. При необходимости изменения тока или напряжения в небольших пределах реостат включают в цепь параллельно или последовательно. Для получения значений тока и напряжения от нуля до максимального значения применяется потенциометрическое включение реостата, являющего в данном случае регулируемым делителем напряжения.

Использование реостата возможно как в качестве электроизмерительного прибора, так и прибора в составе электрической или электронной схемы.

### *Основные типы реостатов*

Проволочный реостат. Состоит из проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением, натянутой на раму. Проволока проходит через несколько контактов. Соединяя с нужным контактом, можно получить нужное сопротивление.

Ползунковый реостат. Состоит из проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением, виток к витку натянутой на стержень из изолирующего материала. Проволока покрыта слоем окислы, который специально получается при производстве. При перемещении ползунка с присоединённым к нему контактом слой окислы соскабливается, и электрический ток протекает из проволоки на ползунок. Чем больше витков от одного контакта до другого, тем больше сопротивление. Такие реостаты применяются в учебном процессе. Разновидностью ползункового реостата является агометр, в котором роль ползунка выполняет колёсико из проводящего материала,двигающееся по поверхности диэлектрического барабана с намотанной на него проволокой.

Жидкостный реостат, представляющий собой бак с электролитом, в который погружаются металлические пластины. Обеспечивается плавное регулирование. Величина сопротивления реостата пропорциональна расстоянию между пластинами и обратно пропорциональна площади части поверхности пластин, погруженной в электролит[2].

Ламповый реостат. Состоит из набора параллельно включённых ламп накаливания. Изменением количества включённых ламп изменялось сопротивление реостата. Недостатком лампового реостата является зависимость его сопротивления от степени разогрева нитей ламп.

По терминологии, используемой в ГОСТ 21414-75 «Резисторы. Термины и определения»:

Переменный резистор — резистор, электрическое сопротивление которого между его подвижным контактом и выводами резистивного элемента можно изменить механическим способом.

Регулировочный резистор — переменный резистор, предназначенный для многократной регулировки параметров электрической цепи.

Подстроечный резистор — переменный резистор, предназначенный для подстройки параметров электрической цепи, у которого число перемещений подвижной системы значительно меньше, чем у регулировочного резистора.

Резистор (англ. resistor, от лат. resisto — сопротивляюсь) — пассивный элемент электрических цепей, обладающий определённым или переменным значением электрического сопротивления[1], предназначенный для линейного преобразования силы тока в напряжение и напряжения в силу тока, ограничения тока, поглощения электрической энергии и др.[2].

Весьма широко используемый компонент практически всех электрических и электронных устройств.

Основные характеристики и параметры резисторов

- Номинальное сопротивление, - основной параметр.
- Предельная рассеиваемая мощность.
- Температурный коэффициент сопротивления.
- Допустимое отклонение сопротивления от номинального значения (технологический разброс в процессе изготовления).
- Предельное рабочее напряжение.
- Избыточный шум.
- Максимальная температура окружающей среды для номинальной мощности рассеивания.
- Влагоустойчивость и термостойкость.
- Коэффициент напряжения. Учитывает явление зависимости сопротивления некоторых видов резисторов от приложенного напряжения.

### *3. Силовые конденсаторы и конденсаторные установки*

Силовые конденсаторы предназначены для обеспечения высокочастотной связи по линиям электропередач, для делителей напряжения и отбора мощности, для продольной компенсации, для повышения коэффициента мощности, импульсные, фильтровые; силовые конденсаторы и конденсаторные батареи для электротермических установок.

Конденсаторной установкой называется электроустановка, состоящая из конденсаторов, относящегося к ним вспомогательного электрооборудования (выключателей, разъединителей, разрядных резисторов, устройств регулирования, защиты и т.п.) и ошиновки.

Конденсаторная установка может состоять из одной или нескольких конденсаторных батарей или из одного или нескольких отдельно установленных единичных конденсаторов, присоединенных к сети через коммутационные аппараты..."

## **3.5. Электромагнитные выключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

### *1. Масляные выключатели*

Масляные выключатели - одни из первых коммутационных аппаратов в электроустановках высокого напряжения, применяются с конца прошлого столетия, не потеряли своего значения и широко используются в настоящее время. В СССР это основной вид выключателей на 6—220 кВ.

Различают выключатели масляные баковые — с большим объемом масла, масло служит и как дугогасящая среда, и как изоляция, и выключатели маломасляные — с малым объемом масла, масло служит только дугогасящей средой.

На напряжения 35-220 кВ применяются в основном баковые выключатели. Маломасляные выключатели являются основными на напряжение до 10 кВ. И это положение сохранится надолго, особенно если будут повышены их номинальные токи до

4 кА, а отключаемый ток - до 40— 50 кА. Начинают все более широко применяться маломасляные выключатели в наружных установках на 110 и 220 кВ при условии их достаточной отключающей способности (серия ВМТ).

Достоинства масляных выключателей — относительная простота конструкции, большая отключающая способность и независимость от атмосферных явлений. Недостатком, особенно баковых выключателей, является наличие большого количества масла, что приводит к большим габаритам и массам как самих выключателей, так и распределительных устройств, повышенной пожаро- и взрывоопасности, необходимости специального масляного хозяйства.

Первыми выключателями в цепях высокого напряжения были масляные многобъемные (баковые) выключатели без специальных устройств для гашения дуги. Контактная система размещалась в стальном заземленном баке, залитом изоляционным маслом, которое служило для гашения дуги и изоляции токоведущих частей друг от друга и от заземленного бака. При отключении возникает дуга между контактами, которая разлагает и испаряет масло, образуется газопаровой пузырь с давлением внутри 0,5 - 1 МПа, в котором охлаждается и гаснет дуга. Отключающая способность таких выключателей невелика, например выключатель ВМЭ-6-200 имеет  $I_{откл.ном}=4$  кА. Значительного увеличения отключающей способности можно достигнуть применением дугогасительных камер. Рассмотрим устройство выключателя С-35-630-10 ( $U_{ном}=35$  кВ,  $I_{ном}=630$  А,  $I_{откл.ном}=10$  кА).

Основные преимущества баковых выключателей: простота конструкции, высокая отключающая способность, пригодность для наружной установки, возможность установки встроенных трансформаторов тока.

Недостатки баковых выключателей: взрыво- и пожароопасность; необходимость периодического контроля за состоянием и уровнем масла в баке и вводах; большой объем масла, что обуславливает большую затрату времени на его замену, необходимость больших запасов масла; непригодность для установки внутри помещений; непригодность для выполнения быстродействующего АПВ; большая затрата металла, большая масса, неудобство перевозки, монтажа и наладки.

Указанные недостатки баковых выключателей привели к тому, что на вновь сооружаемых объектах они не применяются, а на действующих заменяются маломасляными и элегазовыми.

Малообъемные масляные выключатели (горшковые) получили широкое распространение в закрытых и открытых распределительных устройствах всех напряжений. Масло в этих выключателях в основном служит дугогасящей средой и только частично изоляцией между разомкнутыми контактами. Изоляция токоведущих частей друг от друга и от заземленных конструкций осуществляется фарфором или другими твердыми изолирующими материалами. Контакты выключателей для внутренней установки находятся в стальном бачке (горшке), отсюда сохранилось название выключателей “горшковые”.

Маломасляные выключатели напряжением 35 кВ и выше имеют фарфоровый корпус. Самое широкое применение имеют выключатели 6 - 10 кВ подвесного типа.

В этих выключателях корпус крепится на фарфоровых изоляторах к общей раме для всех трех полюсов. В каждом полюсе предусмотрен один разрыв контактов и дугогасительная камера.

Конструкция маломасляных выключателей 35 кВ и выше продолжает совершенствоваться с целью увеличения номинальных токов и отключающей способности. В мировой практике маломасляные выключатели изготавливаются на напряжения до 420 кВ.

Достоинства маломасляных выключателей: небольшое количество масла; относительно малая масса; более удобный, чем у баковых выключателей, доступ к



дугогасительным контактам; возможность создания серии выключателей на разные напряжения с применением унифицированных узлов.

Недостатки маломасляных выключателей: взрыво- и пожароопасность, хотя и значительно меньшая, чем у баковых выключателей; невозможность осуществления быстродействующего АПВ; Необходимость периодического контроля, доливки, относительно частой замены масла в дугогасительных бачках; трудность установки встроенных трансформаторов тока; относительно малая отключающая способность.

Область применения маломасляных выключателей – закрытые распределительные устройства электростанций и подстанций 6, 10, 20, 35 и 110 кВ, комплектные распределительные устройства 6, 10 и 35 кВ и открытые распределительные устройства 35, 110 и 220 кВ.

## *2. Электромагнитные выключатели*

Электромагнитные выключатели имеют ряд преимуществ перед масляными и пневматическими. Они не требуют для работы масла или сжатого воздуха, допускают большое количество включений и отключений без ремонта. Отсутствие масла упрощает эксплуатацию выключателя, делает его полностью взрыво- и пожаробезопасным.

Электромагнитные выключатели нашли широкое применение в электроустановках с частыми коммутационными операциями. Гашение дуги в электромагнитном выключателе происходит за счет увеличения сопротивления ее вследствие интенсивного удлинения под действием магнитного поля и охлаждения.

Электромагнитные выключатели для гашения дуги не требуют ни масла, ни сжатого воздуха, что является большим преимуществом их перед другими типами выключателей.

Выключатели этого типа выпускают на напряжение 6 - 10 кВ, номинальный ток до 3600 А и ток отключения до 40 кА.

В этих выключателях для гашения дуги используется затягивание дуги в узкую щель энергией магнитного поля.

Выключатели серии ВЭ-10 на различные токи отключения отличаются размерами дугогасительных камер. При номинальных токах 1600 А и выше рабочие контакты имеют серебряные напайки. Выводные контакты у выключателей до 2500 А розеточного типа, у выключателей на 3600 А — пальцевые, без проходных изоляторов.

Приводы выключателей ВЭ-10 — пружинные, выключателей ВЭЭ-6 — электромагнитные.

Достоинства электромагнитных выключателей: полная взрыво-и пожаробезопасность, малый износ дугогасительных контактов, пригодность для работы в условиях частых включений и отключений, относительно высокая отключающая способность (20—40 кА).

Недостатки: сложность конструкции дугогасительной камеры с системой магнитного дутья, ограниченный верхний предел номинального напряжения (15 — 20 кВ), ограниченная пригодность для наружной установки.

## *3. Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ.*

Разъединители предназначены для отключения и включения отдельных участков сети или оборудования, находящихся только под напряжением, для отключения участков сети с незначительными токами, а также для создания видимого разрыва электрической цепи при работах на линии или оборудовании.

Разъединители различают по роду установки (для внутренней и наружной), напряжению (6, 10кВ), току (400, 630А и более), исполнению — однополюсные, трехполюсные и трехполюсные с заземляющими ножами.

Однополюсные разъединители обозначают буквами РВО, трехполюсные РВ и трехполюсные с заземляющими ножами РВЗ с указанием номинальных напряжений и токов. Разъединители с заземляющими ножами имеют три варианта исполнения: I — заземляющие ножи со стороны разъёмных контактов, II — заземляющие ножи со стороны шарнирных контактов и III — заземляющие ножи с двух сторон. Например, разъединитель на напряжение 10кВ и ток 400А обозначают: однополюсный — РВО-10/400, трехполюсный — РВ-10/400 и трехполюсный с заземляющими ножами с двух сторон — РВЗ-10/400-III (рисунок б).

Трехполюсные разъединители могут быть изготовлены с тремя проходными изоляторами, на которых крепят подвижные ножи. Разъединители такого типа на напряжение 10кВ и номинальный ток 400А обозначают РВФ-10/400, а с заземляющими ножами РВФЗ-10/400.

Разъёмную часть разъединителя выполняют с линейным или плоскостным контактом. В разъединителях с линейным контактом переход тока осуществляется через ряд расположенных по одной линии точек, в разъединителях с плоскостным контактом — через несколько точек, расположенных на соприкасающихся плоскостях. В разъёмах штепсельного типа, применяемых в камерах КРУ, переход тока осуществляется также через несколько точек, расположенных на соприкасающихся плоскостях. Управление разъединителями в городских сетях производят вручную: однополюсными — с помощью изолирующей штанги, трехполюсными — с помощью рычажного привода ПР.

Разъединитель РВЗ имеет два привода — один для основных, второй для заземляющих ножей, причем предусмотрена блокировка между валами основных и заземляющих ножей, что исключает возможность включения заземляющих ножей при включенных основных разъединителях. И, наоборот, включения основных разъединителей при включенных заземляющих ножах, то есть исключает возможность ошибочных действий персонала при оперировании этими ножами.

### **3.6. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

#### *1. Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ.*

Комплектные трансформаторные подстанции применяют для приема, распределения и преобразования электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц.

По числу трансформаторов КТП могут быть однитрансформаторными, двухтрансформаторными и трехтрансформаторными.

По роду установки КТП могут быть:

- внутренней установки с масляными, сухими или заполненными негорючей жидкостью трансформаторами;
- наружной установки (только с масляными трансформаторами);
- смешанной установки с расположением РУ высшего напряжения и трансформатора снаружи, а РУ низшего напряжения внутри помещения.
- КТП можно разделить на четыре основные группы.

. КТП наружной установки мощностью 25...400 кВ·А, напряжением 6...35/0,4 кВ, применяемые для электроснабжения объектов сельскохозяйственного назначения. Это в основном мачтовые подстанции. КТП данной группы состоят из шкафа ввода ВН, трансформатора и шкафа НН, укомплектованного на отходящих линиях автоматическими выключателями.

. КТП внутренней и наружной установки напряжением до 10 кВ включительно мощностью 160...2500 кВ·А, которые в основном используются для электроснабжения промышленных предприятий. КТП этой группы состоят из шкафов ввода на напряжение

10 кВ и РУ напряжением до 1 кВ. Для КТП применяют как масляные, так и заполненные негорючей жидкостью или сухие трансформаторы специального исполнения с боковыми выводами, для КТП наружной установки - только масляные.

. Сборные и комплектные трансформаторные подстанции напряжением 35...110/6...10кВ. Со стороны высокого напряжения подстанции комплектуются открытыми распределительными устройствами напряжением 35... 110 кВ, со стороны 6... 10 кВ - шкафами КРУН наружной установки.

. КТП специального назначения, перевозимые на салазках, напряжением 6... 10 кВ, мощностью 160...630 кВ-А, которые выпускаются для электроснабжения стройплощадок, рудников, шахт, карьеров.

## *2. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ.*

Компенсатор реактивной мощности УКРМ 6 кВ - Высоковольтные комплектные конденсаторные установки (6,3 - 10,5 кВ):

Чаще всего применяются аббревиатуры УКРМ, УКЛ56, УКЛ57, КРМ, УК, АУКРМ. Производство конденсаторных установок "СлавЭнерго" ставит в приоритет безопасность последующей эксплуатации продукции. Имеется множество внешних защитных устройств, а также встроенные защиты в конденсаторы. Так же, как и низковольтные ККУ, в случае необходимости изготавливаются с защитными дросселями от опасных гармоник.

Производятся либо полностью регулируемые высоковольтные ККУ с несколькими автоматическими ступенями, либо частично регулируемые с фиксированными и автоматическими ступенями.

Климатические исполнения комплектных конденсаторных установок

По способу размещения существует множество вариантов исполнения:

блок-бокс типа "север" для конденсаторной установки в специальном утепленном северном контейнере (блок-контейнере, блок-боксе, модульном здании). Контейнеры имеют собственное внутреннее освещение, отопление, вентиляцию, огнетушитель, щит собственных нужд, а также различные дополнения по желанию заказчика (противопожарные, охранные системы, наличие крыльца, фирменная окраска и т.д.);

открытого типа (внутреннего исполнения) - стандартное исполнение для размещения внутри помещений. В зависимости от типа помещения (отапливаемое/неотапливаемое/нерегулярно отапливаемые) корпуса конденсаторной установки по желанию клиента также могут иметь отличия по степени защиты и наличию обогрева;

устройство компенсации реактивной мощности открытого типа (в специальных корпусах для эксплуатации под открытым небом). Преимущества по сравнению с контейнерным исполнением: занимают меньшую площадь, стоимость несколько ниже. Минусы по сравнению с контейнерным исполнением: не рекомендуется применять при температурах ниже минус 45 °С, не столь удобны для обслуживания в зимнее время (например, возможно проникновение капель влаги внутрь установки в момент открытия ее двери зимой или в пасмурную погоду).

## **3.7. Модульная установка для катодной защиты. Извещатель пожарный дымовой – опτικο-электронный. Принципы работы и технические характеристики.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

*1. Характеристика инновационных электротехнических материалов: диэлектрики, элегаз, проводники, полупроводники.*

По способности проводить электрический ток вещества можно разделить на

- проводники
- полупроводники
- диэлектрики

Эта способность обусловлена особенностью строения веществ.

В проводниках присутствуют свободные носители заряда - это часть электронов сравнительно слабо связанных с ядром, которые могут перемещаться с орбиты одного ядра на орбиту другого под воздействием внешнего электрического поля. Такие электроны называются свободными. К проводникам относятся такие вещества, как медь, алюминий.

Диэлектриками называются вещества, основным электрическим свойством которых является их способность поляризоваться в электрическом поле. Строение диэлектриков характеризуется наличием незначительного количества свободных электронов и молекул, вытянутых по форме (полярные диполи). Суть явления поляризации заключается в том, что под воздействием внешнего электрического поля связанные заряды диэлектрика смещаются в направлении действующих на них сил и тем больше, чем выше напряженность поля.

В дипольных диэлектриках воздействие электрического поля вызывает соответствующую ориентацию дипольных молекул в направлении поля. При отсутствии поля диполи расположены беспорядочно вследствие теплового движения. В результате поляризации на поверхности диэлектрика образуются заряды разных знаков. Проводимость диэлектриков обусловлена наличием незначительного числа свободных зарядов. Диэлектрические материалы обладают очень большим электрическим сопротивлением, которое находится в пределах  $10^6 \dots 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Диэлектрические материалы классифицируют по:

- агрегатному состоянию:
  - жидкие;
  - газообразные;
  - твердые.
- по способу получения:
  - естественные;
  - синтетические.
- по химическому составу:
  - органические;
  - неорганические.
- по строению молекул:
  - нейтральные;
  - полярные.

К диэлектрикам относятся воздух, азот, элегаз, лаки, слюда, керамика, полиэтилен.

Промежуточное положение между проводниками и диэлектриками занимают полупроводники. К полупроводникам относятся элементы IV группы периодической системы элементов Д. И. Менделеева, которые на внешней оболочке имеют четыре валентных электрона. Типичные полупроводники - германий Ge и кремний Si.

Чистые полупроводники обладают удельным сопротивлением в пределах  $10^{-5} \dots 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Для снижения высокого удельного сопротивления в чистые полупроводники вводят примеси - проводят легирование, такие полупроводники называются легированными. В качестве легирующих примесей применяют элементы III (бор B) и V (мышьяк As) групп периодической системы элементов Д. И. Менделеева.

Область на границе двух полупроводников, один из которых имеет дырочную, а другой - электронную проводимость, называют p-n - переходом.

#### Элегаз

Уникальные свойства элегаза были открыты в России, впервые его применение также началось в России. В 30-х годах XX века ученый Ленинградского физико-технического института Б. М. Гохберг исследовал электрические свойства ряда газов и обратил внимание на некоторые свойства шестифтористой серы SF<sub>6</sub>, а именно:

- электрическая прочность при атмосферном давлении и зазоре 1 см составляет 89 кВ/см (воздух при н.у. имеет электрическую прочность 30 кВ/см);
- большой коэффициент теплового расширения;
- высокая плотность (при 20 °С и 0,1 МПа равна 6,139 кг/м<sup>3</sup>, что почти в пять раз выше, чем у воздуха).

На основании полученных в результате опытов данных Б. М. Гохберг первым высказал предположение о возможности применения элегаза в качестве изоляционной среды для электрооборудования высокого напряжения и в 1942 году в России было получено авторское свидетельство на высоковольтный аппарат с элегазом. Однако для развития конструкций аппаратов необходимо было иметь данные по коррозионной стойкости материалов в среде элегаза с учетом наложенного электрического поля, данные о влиянии продуктов разложения элегаза на надежность аппаратов и здоровье персонала подстанций, а также удобный и достоверный метод анализа качества элегаза. До конца 50-х годов прошлого века практически не было никакой информации по физико-химическим, токсическим и коррозионным свойствам элегаза. Первые открытые научные публикации по этим темам появились лишь в начале 60-х годов, и именно в этот период времени отечественная промышленность выпустила первые образцы коммутационных аппаратов с элегазовой изоляцией.

Низкое качество отечественного элегаза, выпускаемого в 60-70-х годах требовало развития и совершенствования технологии получения чистого элегаза при наличии достоверного и оперативного метода контроля, решались задачи транспортировки, утилизации и регенерации элегаза, т. е. восстановления свойств до первичного состояния. По этой причине внедрение элегазового коммутационного оборудования на энергетических объектах в России началось лишь в 80 - х годах XX века, но оборудование устанавливалось в единичных экземплярах, лишь в середине 90-х годов началось их массовое применение в энергосистемах.

За рубежом так же шло активное изучение свойств этого элегаза: в период с 1906 по 1933 годы были определены и описаны основные физические и химические свойства, при чем в работах особое внимание уделялось диэлектрическим свойствам. В 1937 году специалисты компании General Electric (США) провели первые исследования по применению элегаза в промышленных целях и пришли к выводу, что его можно использовать в качестве изоляционной среды в электроэнергетике. В 1939 году компания «Томсон - Хьюстон электрик» запатентовала принцип применения элегаза для конденсаторов, были и другие разработки, но внедрение элегаза в промышленных объемах началось только после Второй мировой войны - в 50 - х годах шло активное развитие промышленного производства SF<sub>6</sub>, а в 60 - х годах появились первые коммутационные аппараты высокого и сверхвысокого напряжения.

### **3.8. СИП - Самонесущий изолированный провод. Трубчатый элемент для батарей высокотемпературных электрохимических устройств. Пленочные ИМС.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности:

### *1. Потери электрической энергии*

При передаче электрической энергии в каждом элементе электрической сети возникают потери. Для изучения составляющих потерь в различных элементах сети и оценки необходимости проведения того или иного мероприятия, направленного на снижение потерь, выполняется анализ структуры потерь электроэнергии. Разделение потерь на составляющие может проводиться по разным критериям: характеру потерь (постоянные, переменные), классам напряжения, группам элементов, производственным подразделениями и т.д. Учитывая физическую природу и специфику методов определения количественных значений фактических потерь, они могут быть разделены на четыре составляющие:

1) *технические потери электроэнергии*  $\Delta W_T$ , обусловленные физическими процессами в проводах и электрооборудовании, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям.

2) *расход электроэнергии на собственные нужды подстанций*  $\Delta W_{CH}$ , необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала, определяемый по показаниям счетчиков, установленных на трансформаторах собственных нужд подстанций;

3) *потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями их измерения* (инструментальные потери)  $\Delta W_{Изм}$ ;

4) *коммерческие потери*  $\Delta W_K$ , обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате за электроэнергию бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии. Их значение определяют как разницу между фактическими (отчетными) потерями и суммой первых трех составляющих:

$$\Delta W_K = \Delta W_{Отч} - \Delta W_T - \Delta W_{CH} - \Delta W_{Изм.} \quad (1.1)$$

Три первые составляющие структуры потерь обусловлены технологическими потребностями процесса передачи электроэнергии по сетям и инструментального учета ее поступления и отпуска. Сумма этих составляющих хорошо описывается термином *технологические потери*. Четвертая составляющая - коммерческие потери - представляет собой воздействие "человеческого фактора" и включает в себя все его проявления: сознательные хищения электроэнергии некоторыми абонентами с помощью изменения показаний счетчиков, неоплату или неполную оплату показаний счетчиков и т.п.

Критерии отнесения части электроэнергии к потерям могут быть *физического и экономического* характера [1].

Сумму технических потерь, расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций и коммерческих потерь можно назвать *физическими* потерями электроэнергии. Эти составляющие действительно связаны с физикой распределения энергии по сети. При этом первые две составляющие физических потерь относятся к технологии передачи электроэнергии по сетям, а третья - к технологии контроля количества переданной электроэнергии.

Экономика определяет *потери* как часть электроэнергии, на которую ее зарегистрированный полезный отпуск потребителям оказался меньше электроэнергии, произведенной на своих электростанциях и закупленной у других ее производителей. При этом зарегистрированный полезный отпуск электроэнергии здесь не только та его часть, денежные средства за которую действительно поступили на расчетный счет энергоснабжающей организации, но и та, на которую выставлены счета, т.е. потребление энергии зафиксировано. В отличие от этого реальные показания счетчиков, фиксирующих потребление энергии бытовыми абонентами, неизвестны. Полезный отпуск электроэнергии бытовым абонентам определяют непосредственно по поступившей за месяц оплате, поэтому к потерям относят всю неоплаченную энергию.

С точки зрения экономики расход электроэнергии на собственные нужды подстанций ничем не отличается от расхода в элементах сетей на передачу остальной части электроэнергии потребителям.

Недоучет объемов полезно отпущенной электроэнергии является такой же экономической потерей, как и две описанные выше составляющие. То же самое можно сказать и о хищениях электроэнергии. Таким образом, все четыре описанные выше составляющие потерь с экономической точки зрения одинаковы.

Технические потери электроэнергии можно представить следующими структурными составляющими:

нагрузочные потери в оборудовании подстанций. К ним относятся потери в линиях и силовых трансформаторах, а также потери в измерительных трансформаторах тока, высокочастотных заградителях (ВЗ) ВЧ - связи и токоограничивающих реакторах. Все эти элементы включаются в "рассечку" линии, т.е. последовательно, поэтому потери в них зависят от протекающей через них мощности.

потери холостого хода, включающие потери в электроэнергии в силовых трансформаторах, компенсирующих устройствах (КУ), трансформаторах напряжения, счетчиках и устройствах присоединения ВЧ-связи, а также потери в изоляции кабельных линий.

климатические потери, включающие в себя два вида потерь: потери на корону и потери из-за токов утечки по изоляторам ВЛ и подстанций. Оба вида зависят от погодных условий.

Технические потери в электрических сетях энергоснабжающих организаций (энергосистем) должны рассчитываться по трем диапазонам напряжения [4]:

в питающих сетях высокого напряжения 35 кВ и выше;

в распределительных сетях среднего напряжения 6 - 10 кВ;

в распределительных сетях низкого напряжения 0,38 кВ.

Распределительные сети 0,38 - 6 - 10 кВ, эксплуатируемые РЭС и ПЭС, характеризуются значительной долей потерь электроэнергии в суммарных потерях по всей цепи передачи электроэнергии от источников до электроприемников. Это обусловлено особенностями построения, функционирования, организацией эксплуатации данного вида сетей: большим количеством элементов, разветвленностью схем, недостаточной обеспеченностью приборами учета, относительно малой нагрузкой элементов и т.п. [3]

В настоящее время по каждому РЭС и ПЭС энергосистем технические потери в сетях 0,38 - 6 - 10 кВ рассчитываются ежемесячно и суммируются за год. Полученные значения потерь используются для расчета планируемого норматива потерь электроэнергии на следующий год.

## *2. Методы снижения потерь электрической энергии.*

Для объективного технически и экономически обоснованного выбора мероприятий по снижению потерь электрической энергии, а также для определения объемов финансирования сроков реализации должны разрабатываться и утверждаться схемы развития электрических сетей на расчетный период.

При разработке схем развития рассматриваются следующие вопросы и принимаются по ним решения.

### **Оптимизация схемных режимов**

Проводится анализ существующих схем в части построения городских электрических сетей: двухлучевая; петлевая; смешанная с выполнением электрических расчетов и с оценкой двух режимов электрических сетей - для условий годового максимума и минимума нагрузок с учетом определившихся за период эксплуатации точек токораздела в нормальном и в послеаварийном режимах. Рассчитываются потери

электроэнергии в элементах сети, в линиях электропередачи, в трансформаторах. Определяется баланс активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков. Дается оценка эффективности работы сети по потерям электроэнергии, ее качеству у потребителя, загрузке сети реактивной мощностью и ее дефициту, надежности электроснабжения.

С учетом данных о росте нагрузок, существующих потребителей на расчетный период, данных о новых заявленных потребителях, планов городской застройки и перспективного развития формируется, дорабатывается схема развития на расчетный период, а так же ее принципы построения, уточняются точки токоразделов. Вновь выполняются электрические расчеты с оценкой двух режимов электрической сети - для условий годового максимума и минимума нагрузки с составлением нового баланса активной и реактивной мощностей в нормальном и послеаварийном режимах. По результатам электрических расчетов и данных полученных техническим аудитом, характеризующих физическое состояние электротехнического оборудования сетей, определяются объемы работ по его замене, по реконструкции и развитию электрических распределительных сетей, необходимых для приведения их к состоянию, при котором обеспечиваются оптимальные электрические потери, а также адаптация сетей к растущим электрическим нагрузкам.

Перевод электрической сети (участков сети) на более высокий класс напряжения

С появлением в жилищном секторе современных многоэтажных зданий, удельное потребление на квартиру в которых превышает 20кВт, необходимо рассматривать вопрос электроснабжения этих зданий по схеме глубокого ввода, сводя тем самым к минимуму появление новых кабельных линий напряжением 0,38 кВ.

При выполнении электрических расчетов с учетом роста нагрузок необходимо рассматривать возможность перевода участков сети на более высокий класс напряжения. Особенно это касается зон комплексной массовой застройки. Перевод сети на более высокий класс напряжения должен рассматриваться одновременно с режимами работы нейтрали (глухозаземленная или эффективно заземленная через резистор), с такими режимами работы нейтрали имеют меньшие потери электроэнергии за счет отсутствия дополнительного оборудования, необходимого для компенсации больших емкостных токов.

Компенсация реактивной мощности

При разработке схем развития сетей на стадии определения баланса активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков на расчетный период определяется дефицит реактивной мощности. На основании расчетных данных в схеме решаются вопросы необходимого количества устройств компенсации реактивной мощности, а также места их размещения. Приоритетным является размещение компенсирующих устройств непосредственно у потребителя, так как это коренным образом влияет на потери электроэнергии в сети и на ее качество у потребителя. Батарея статистических конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

Регулирование напряжения в линиях электропередачи

Регулирование напряжения на центрах питания должно осуществляться по принципу встречного регулирования. На протяженных фидерах - в целях снижения потерь электроэнергии и обеспечения надлежащего уровня напряжения, в качестве регуляторов напряжения необходимо устанавливать конденсаторные батареи с автоматическим регулированием или вольтодобавочные трансформаторы, также с автоматическим регулированием напряжения.



Применение современного электротехнического оборудования, отвечающего требованиям энергосбережения

Необходимо заменять силовые трансформаторы и трансформаторы собственных нужд в случае, если они обладают большими потерями электроэнергии на перемагничивание сердечников, на трансформаторы с меньшими потерями, а также токоограничивающие реакторы на современные с большими индуктивными сопротивлениями к токам КЗ и меньшими потерями в нормальном режиме.

При разработке рабочих проектов на реконструкцию и техническое перевооружение должно закладываться оборудование, отвечающее требованиям энергосбережения. Применение трансформаторов с сердечниками из аморфной стали, также позволит снизить потери.

Применение измерительных трансформаторов тока и напряжения с высоким классом точности и замена индукционных счетчиков на электронные позволит получать более объективную информацию о потерях в электрических распределительных сетях, снижая тем самым величину коммерческих потерь электроэнергии.

Применение вольтодобавочных трансформаторов как линейных регуляторов напряжения позволяет не только снижать потери электроэнергии в сетях, но также решает вопрос адаптации линий электропередачи к изменению электрических нагрузок в сторону их роста - обеспечит нормированный уровень напряжения у потребителя.

Снижение расхода электроэнергии на «собственные нужды» электроустановок

Применение для электрообогрева зданий и сооружений подстанций, распределительных пунктов трансформаторных подстанций и т.д. нагревательных элементов с аккумуляторами тепла, позволяющих использовать электроэнергию на обогрев в ночной не пиковый период графика нагрузок позволит частично сократить потребление на собственные нужды на электросетевых объектах.

Применение для освещения зданий и территорий люминесцентных светильников с максимальным использованием так называемого режима «дежурного света».

Внедрение автоматизации и дистанционного управления электрическими распределительными сетями напряжением 6-20 кВ

Обеспечивает своевременное выявление неблагоприятных режимов работы сети и оперативное устранение этих режимов в неблагоприятных ситуациях графиков нагрузок, позволяет избегать аварийных ситуаций массового отключения потребителей. Недопущение развития неблагоприятных режимов в электрических сетях в значительной мере влияет и на потери электроэнергии в сетях.

Коммутационные аппараты выключатели, выключатели нагрузки должны применяться на базе вакуумных выключателей с программируемым микропроцессорным управлением, обеспечивающим функции АПВ, АВР, фиксацию изменения потоков мощности.

Необходимость вышеперечисленных мероприятий должна учитываться при согласовании властями муниципального образования производственных и инвестиционных программ электросетевых организаций.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ**

##### **4.1. Практическое занятие 1. Классификация электротехнического оборудования.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения
2. Электротехническое оборудование по величине рабочего или коммутируемого тока

3. Электротехническое оборудование по выполняемой функции.

#### **4.2. Практическое занятие 2. Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения – низковольтные (до 1000 В).**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Обзор электротехнического оборудования (до 1000 В) прошлого столетия.
2. Обозначение основных элементов электротехнического оборудования на принципиальных электрических схемах.

#### **4.3. Практическое занятие 3. Электротехническое оборудование по величине рабочего напряжения – высоковольтное (более 1000 В).**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Обзор электротехнического оборудования (более 1000 В) прошлого столетия.
2. Обозначение основных элементов электротехнического оборудования на принципиальных электрических схемах.

#### **4.4. Практическое занятие 4. Современное электротехническое оборудование.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Обзор современного электротехнического оборудования.
2. Инновационное электротехническое оборудование, краткий обзор.

#### **4.5. Практическое занятие 5. Автоматические выключатели. Контактторы, магнитные пускатели. Реле.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Автоматические выключатели. Контактторы. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
2. Магнитные пускатели. Реле. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.

#### **4.6. Практическое занятие 6. Командоаппараты, магнитные станции, кнопки, выключатели, переключатели.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Командоаппараты, магнитные станции. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
2. Кнопки, выключатели, переключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.

#### **4.7. Практическое занятие 7. Бесконтактные аппараты Предохранители плавкие. Резисторы и реостаты силовые.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Бесконтактные аппараты Предохранители плавкие.
2. Резисторы и реостаты силовые.

#### **4.8. Практическое занятие 8. Силовые конденсаторы и конденсаторные установки.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Силовые конденсаторы. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
2. Конденсаторные установки. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.

#### **4.9. Практическое занятие 9. Масляные выключатели. Электромагнитные выключатели.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Масляные выключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
2. Электромагнитные выключатели. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.

#### **4.10. Практическое занятие 10. Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Разъединители внутренней установки 10 кВ. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.
2. Разъединители наружной установки 10 кВ. Их классификация, назначение, конструкция, принцип работы.

#### **4.11. Практическое занятие 11. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Требования к коммутационной аппаратуре, конденсаторам и конструкциям при комплектации конденсаторных установок
2. Необходимые сведения при монтаже и эксплуатации комплектных конденсаторных установок.

#### **4.12. Практическое занятие 12. Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Силовые трансформаторы, распределительного устройства РУ.
2. Устройство автоматического управления и защиты и вспомогательные сооружения.

#### **4.13. Практическое занятие 13 Инновационное электротехническое оборудование.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Инновационные электротехнические технологии и материалы (генератор тока, устройство для защиты от дуговых замыканий, устройство передачи электрической энергии трехфазного тока по двухпроводной линии и др.).

#### **4.14. Практическое занятие 14 Инновационное электротехническое оборудование.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Характеристика инновационных электротехнических материалов: диэлектрики, элегаз, проводники, полупроводники.

#### **4.15. – 4.16. Практическое занятие 15-16 Основы рационального выбора использования электрооборудования.**

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Потери электрической энергии.
2. Методы снижения потерь электрической энергии.
3. Энергосбережение на промышленном предприятии.