

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

**Кафедра «Электроснабжение сельского хозяйства»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Автоматизация систем электроснабжения**

**Направление подготовки (специальность)** *27.03.04 Управление в технических системах*

**Профиль образовательной программы** *Системы и средства автоматизации технологических процессов*

**Форма обучения** *очная*

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Конспект лекций .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.1 Лекция № 1 Основные понятия курса. Цели и задачи дисциплины.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.2 Лекция № 2 Автоматическое включение машин.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.3 Лекция №3 Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1.4.Лекция 4 Задачи расчета электрических сетей.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>1.5.Лекция 5 Выбор сечений проводов внутренних проводок по нагреву и расчет электрических сетей по допустимой потере напряжения .....</b> | <b>16</b> |
| <b>1.6.Лекция 6 Характеристика производственных и коммунально-бытовых потребителей сельского хозяйства.....</b>                              | <b>21</b> |
| <b>1.7.Лекция 7 Технология капитального ремонта электрооборудования.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>1.8.Лекция 8 Технология ремонта силовых трансформаторов и ремонта средств автоматики.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>1.9.Лекция 9 Электротехническая служба сельскохозяйственных предприятий.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>1.10.Лекция 10 Релейная защита трансформаторов, генераторов малой мощности, электродвигателей.....</b>                                    | <b>34</b> |
| <b>1.11.Лекция 11 Схемы первичной коммутации подстанций 110-35/10 кВ.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>2. Методические указания по проведению практических занятий .....</b>   | <b>43</b> |
| <b>2.1 Практическое занятие № 1,2.Элементы и системы автоматики.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>2.2 Практическое занятие № 3,4. Классификация автоматических систем управления. ....</b>  | <b>43</b> |
| <b>2.3 Практическое занятие №5. Виды релейных защит.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>2.4 Практическое занятие № 6,7. Релейная защита отдельных элементов систем электроснабжения. ....</b>                                     | <b>44</b> |
| <b>2.5 Практическое занятие №8. Характеристика объектов автоматизации сельскохозяйственного производства.....</b>                            | <b>44</b> |
| <b>2.6 Практическое занятие №9. Системы телемеханики.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>2.7 Практическое занятие №10,11.Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем.....</b>                      | <b>45</b> |
| <b>2.8 Практическое занятие №12.Противоаварийная автоматика систем электроснабжения. ....</b>  | <b>46</b> |
| <b>2.9 Практическое занятие №13. Надежность элементов и систем автоматики... </b>  | <b>46</b> |
| <b>2.10 Практическое занятие № 14,15. Схемы учёта, управления и сигнализации. </b>   | <b>46</b> |
| <b>2.11 Практическое занятие №16,17. Общие сведения о сельскохозяйственных технологических процессах.....</b>                                | <b>46</b> |

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1 Лекция №1 ( 2 часа).

**Тема:** «Основные понятия курса. Цели и задачи дисциплины»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Основные понятия курса
2. Цели и задачи дисциплины;
3. Основные понятия и определения автоматики.
4. Основные этапы процесса автоматизации электроэнергетики.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Основные понятия курса

Электрификация и автоматизация, т. е. производство, автоматизированное распределение и применение электроэнергии, — основа устойчивого функционирования и развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства страны и комфортного быта населения.

- Статический закон регулирования - закон автоматического регулирования, в которой погрешность в установившемся состоянии в общем случае не равна нулю и зависит от величины нагрузки на объект.
- Астатический закон регулирования – закон автоматического регулирования режимов работы промышленных установок, систем автоматического управления и др., в которой ошибка регулирования стремится к нулю независимо от размера воздействия, если последнее принимает установившееся постоянное значение.
- Автоматическое повторное включение (АПВ) — одно из средств релейной защиты, повторно включает отключившийся выключатель через определённое время, бывает однократного, двукратного и трехкратного действия (в некоторых современных схемах возможно до восьми циклов АПВ).
- Автоматический ввод резерва (АВР) — способ обеспечения резервным электроснабжением нагрузок, подключенных к системе электроснабжения, имеющей не менее двух питающих вводов и направленный на повышение надежности системы электроснабжения. Заключается в автоматическом подключении к нагрузкам резервных источников питания в случае потери основного.
- Автоматика ликвидации асинхронного режима (автоматика прекращения асинхронного хода) (АЛАР), (АПАХ) — автоматическая система управления в электроснабжении, является автоматикой энергосистем, поддерживая их устойчивость (глобально).
- Автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) предназначена для предотвращения нарушения динамической устойчивости при аварийных возмущениях (АВ) и обеспечения в послеаварийных условиях нормативного запаса статической устойчивости для заданных сечений охватываемого района. Аварийным возмущением называется внезапное резкое и существенное изменение состояния энергосистемы в результате короткого замыкания, непредвиденного отключения элемента из-за его повреждения или ошибочных действий защиты, автоматики или персонала.
- Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) — один из методов противоаварийной автоматики, направленный на повышение надежности работы электроэнергетической системы путем предотвращения образования лавины частоты и сохранения целостности этой системы. Метод заключается в отключении наименее важных потребителей электроэнергии при внезапно возникшем дефиците активной мощности в системе.
- Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ) – устройства АОПЧ предназначены для предотвращения недопустимого повышения частоты в энергосистеме до уровня, при котором возможно срабатывание автоматов безопасности турбин ТЭС и АЭС.
- Автоматика ограничения снижения частоты (АОСЧ) – необходима для ограничения снижения частоты, возникшей в результате дефицита активной мощности.
- Интегратор (блок интегрирования) — устройство, выходной сигнал которого

пропорционален интегралу от входного сигнала.

- Передаточная функция — один из способов математического описания динамической системы. Используется в основном в теории управления, связи и цифровой обработке сигналов. Представляет собой дифференциальный оператор, выражающий связь между входом и выходом линейной стационарной системы. Зная входной сигнал системы и передаточную функцию, можно восстановить выходной сигнал.
- Апериодическое звено - это звено, выходной сигнал  $y(t)$  которого связан с входным  $x(t)$  дифференциальным уравнением:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t)$$

- Дифференцирующим называют звено, которое описывается уравнением  $y = k p x$  или передаточной функцией  $W(p) = kp$

## 2. Цели и задачи дисциплины.

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о принципах организации и технической реализации автоматизации систем электроснабжения.

Задачей изучения дисциплины является изучение основных принципов выполнения автоматизации систем электроснабжения и защит, как отдельных элементов, так и системы в целом, а также основных положений по расчету систем автоматизации.

В основу курса положены три компонента: объект управления и его характеристики, алгоритмы управления и принципы построения автоматических устройств управления, в том числе, рассматриваются принципы и алгоритмы новых цифровых устройств автоматизации электроснабжения и методика расчета их параметров.

## 3 Основные понятия и определения автоматики.

Автоматизация состоит из теории автоматического регулирования и управления и технических средств построения автоматических систем.

Теория автоматического регулирования и управления — это наука о принципах построения автоматических систем и закономерностях протекающих в них процессов. Основная задача этой науки состоит в построении при помощи инженерных методов оптимальных или близких к ним автоматических систем, а также в исследовании статике и динамики этих систем.

Автоматическая система любой сложности состоит из управляемого объекта (объекта автоматического управления) и автоматического управляющего устройства.

Управляемый объект — это совокупность технических средств (машин, аппаратов, устройств), которая нуждается в оказании специально организованных воздействий извне для достижения поставленной цели управления.

Управлением в технических системах называется преднамеренное воздействие на управляемый объект, обеспечивающее достижение определенных целей.

Автоматическим называется управление, осуществляемое без непосредственного участия человека.

Автоматическим управляющим устройством (АУУ) называется устройство, осуществляющее воздействие на управляемый объект в соответствии с заложенным в нем законом управления.

Сигнал - обусловленное (заранее договоренное) состояние или изменение состояния представляющего параметра, отображающее информацию, которая содержится в воздействии.

Автоматизация - применение машин, машинной техники и технологии с целью облегчения человеческого труда, вытеснения его ручных форм, повышения его производительности. Автоматизация производства призвана устранить физически тяжелый, монотонный труд, переложив его на плечи машин. Автоматизация управления направлена на использование компьютеров и других технических средств обработки и передачи информации в управлении производством, экономикой.

Задача – осуществление управления технологическим процессом, т.е. осуществлять определенные воздействия, соответствующие алгоритму управления системой.

Технологический объект управления

Автоматизированная система управления

Критерий управления

Современная АСУТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) представляет собой многоуровневую человеко-машинную систему управления. Создание АСУ сложными технологическими процессами осуществляется с использованием автоматических информационных систем сбора данных и вычислительных комплексов, которые постоянно совершенствуются по мере эволюции технических средств и программного обеспечения.

#### **4. Основные этапы процесса автоматизации электроэнергетики.**

##### До нашей эры

Слово автоматика происходит от древнегреческого слова «automatos», что означает «самодельствующий». Первые упоминания об автоматах относятся ко II–III векам до нашей эры. Одна из первых книг, в которой содержалось описание автоматов, называлась «Театр автоматов» и была написана знаменитым физиком и инженером древности Героном Александрийским во II веке до н.э.

Первым автоматическим устройством, созданным для практических целей, были часы.

##### XVIII–XIX века

Автоматика в современном смысле этого слова возникла в XVII–XVIII веках, когда стала бурно развиваться машинная техника, требовавшая создания автоматических регуляторов.

В 1765 г. горнозаводский механик И.И. Ползунов сконструировал поплавковый регулятор для автоматического поддержания уровня воды в паровом котле. В 1784 г. в Англии Дж. Уатт изобрел центробежный регулятор скорости вращения паровой машины. Француз Жаккар в 1808 г. разработал систему программного управления ткацким станком. В XIX веке появились регуляторы для паровых турбин, котлов, гидротурбин, причем они изменяли не только скорость, но и температуру, давление, расход воды и пара и т. д.

В 1830–1832 гг. П.Л. Шиллинг изобрел электромеханическое реле и телеграфный аппарат. В 1841 г. Якоби и Ленц построили первый регулятор напряжения. В.П. Шпаковский и В.Н. Чиколев создали регулятор для дуговых ламп.

В 1892 г. вышла классическая работа А.И. Ляпунова «Общая задача об устойчивости движения». Этот научный труд не потерял своего значения и сейчас.

##### XX век

В 1930 г. по инициативе Г.М. Кржижановского был организован комитет для руководства работами по автоматизации в энергетике. В том же году был создан Московский энергетический институт и основан Энергетический институт АН СССР, специалисты которых внесли большой вклад в автоматизацию электроэнергетических систем. В 1935 г. в системе АН СССР стала работать Комиссия телемеханики и автоматики, которая занималась обобщением и координацией научно-исследовательских работ в этой области. В период 1928–1941 гг. создаются первые в СССР заводы по производству приборов и аппаратуры автоматики.

В 30-х годах XX века появились учебные пособия по автоматическому регулированию в энергетике. Была разработана теория устойчивости при параллельной работе генераторов, позволившая создавать сложные электрические системы.

Особенно бурно стала развиваться теория автоматического управления с 40-х годов. Это объясняется началом широкого внедрения электроавтоматики, электронной автоматики, радиотехнических автоматических систем (например, радиолокационных), созданием автопилотов, беспилотных самолетов-снарядов, ракет и т.д.

Большой вклад в развитие теории автоматического управления внесли российские ученые – А.А. Андронов, А.В. Михайлов, И.Н. Вознесенский, Я.З. Цыпкин, Е.П. Попов, А.М. Летов, Л.С. Понтрягин, А.Н. Колмогоров и многие другие. Общие идеи построения и применения автоматических устройств и систем оказались настолько плодотворными, что их стали применять практически во всех областях науки и техники:

- автоматизация управления производственными процессами, энергетическими системами, транспортными объектами;
- автоматизация инженерных расчетов при проектировании машин, предприятий и самих автоматических устройств;
- автоматизация управленческих работ и др.

## **1. 2 Лекция № 2 ( 2 часа).**

**Тема: «Автоматическое включение машин»**

### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Общие сведения;
2. Способы и условия включения синхронных генераторов на параллельную работу;
3. Автоматическое включение синхронных генераторов способом самосинхронизации;
4. Автоматическое включение синхронных электродвигателей.

### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Общие сведения.**

Автоматизация синхронизации генераторов этой операцией облегчает условия труда оперативного персонала и позволяет *ускорить* включение генератора в сеть, что особенно важно в аварийных условиях. Устройства автоматики подразделяются на *автоматические* и *полуавтоматические*.

При автоматической синхронизации весь процесс включения генератора в сеть выполняется автоматически, без вмешательства дежурного персонала. Так, например, автоматический точный синхронизатор осуществляет регулирование частоты вращения и напряжения синхронизируемого генератора, контролирует допустимость для включения разности частот и напряжений, дает импульс на включение в момент, когда выполняются условия точной синхронизации.

#### **2. Способы и условия включения синхронных генераторов на параллельную работу.**

Генераторы современных электрических станций очень редко работают автономно, на собственную отдельную электрическую сеть и отдельную группу потребителей. Через сборные шины станции генераторы связаны электрически и работают параллельно на общую сеть. Параллельная работа позволяет обеспечить генераторам экономичный нагрузочный режим, повышает надежность электроснабжения потребителей и качество электроэнергии (постоянство частоты и напряжения).

Включение синхронного генератора на сеть для параллельной работы с другими, уже подключенными, требует особой подготовки предварительного обеспечения ряда условий, без чего генератор в момент включения может оказаться в опасном режиме. Весь процесс подготовки генератора к включению на параллельную работу (выполнения и проверки необходимых требований) называется синхронизацией.

### **3. Автоматическое включение синхронных генераторов способом самосинхронизации.**

Согласно правилам технической эксплуатации способ самосинхронизации разрешается применять в аварийных условиях на турбогенераторах мощностью до 200 МВт включительно и гидрогенераторах мощностью до 500 МВт включительно; генераторы большей мощности разрешается включать этим способом при условии, что кратность сверхпереходного тока к номинальному не превышает 3,0. В нормальных условиях разрешается включение способом самосинхронизации (в зависимости от условий работы электростанции и состояния агрегата) турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток, работающих по схеме генератор – трансформатор; гидрогенераторов с косвенным охлаждением обмоток, а также синхронных компенсаторов с разгонными электродвигателями.

#### **4. Автоматическое включение синхронных электродвигателей.**

В момент восстановления питания все двигатели, выключатели которых находятся во включенном положении, начнут самопроизвольный пуск (самозапуск). Часть двигателей к этому моменту остановилась, часть еще находится на выбеге.

Ток сам в несколько раз превышает номинальное значение. Ранее, из опасения повреждения двигателей повышенными токами при восстановлении их питания, отключали двигатели на выбеге устройствами защиты минимального напряжения. Впоследствии была на практике доказана допустимость самозапуска.

### **1. 3 Лекция № 3 ( 2 часа).**

**Тема: «Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»**

#### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Устройства автоматического регулирования возбуждения, напряжения и реактивной мощности;
2. Основные задачи автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности;
3. Функции автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) генераторов в энергосистемах;
4. Токовое компаундирование;
5. Фазовое компаундирование синхронных машин.

#### **1.3.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Устройства автоматического регулирования возбуждения, напряжения и реактивной мощности.**

Устройства автоматического регулирования возбуждения, напряжения и реактивной мощности предназначены для:

- поддержания напряжения в электрической системе и у электроприемников по

- заданным характеристикам при нормальной работе электроэнергетической системы;
- распределения реактивной нагрузки между источниками реактивной мощности по заданному закону;
- повышения статической и динамической устойчивости электрических систем и демпфирования колебаний в переходных режимах.

## **2. Основные задачи автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности.**

- обеспечение требуемого напряжения потребителей (качества электроэнергии);
- обеспечение рациональных потоков реактивной мощности в энергосистеме;
- повышение динамической устойчивости в аварийных режимах.

Для решения этих задач применяются:

- автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) СГ электростанций;
- регулирование возбуждения синхронных компенсаторов и двигателей;
- регулирование мощности управления статистических источников реактивной мощности;
- автоматическое регулирование коэффициентов трансформации трансформаторов.

## **3. Функции автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) генераторов в энергосистемах.**

Согласно Правилам технической эксплуатации все генераторы независимо от их мощности и напряжения должны иметь устройство форсировки возбуждения, а генераторы мощностью 3 МВт и выше должны быть также оснащены автоматическими регуляторами возбуждения (АРВ).

Простейшим автоматическим устройством, предназначенным для быстрого увеличения возбуждения генератора в аварийном режиме, является релейная форсировка возбуждения. Принцип действия форсировки состоит в том, что при значительном снижении напряжения на зажимах генератора (обычно ниже 85% номинального) реле минимального напряжения  $K V$  замыкает свои контакты и приводит в действие контактор форсировки КМ, который, срабатывая, закорачивает сопротивление шунтового реостата в цепивозбудителя RR. В результате ток возбуждения возбудителя быстро возрастает до максимального значения и возбуждение генератора достигает предельного значения.

## **4. Токовое компаундирование.**

Токовое компаундирование вырабатывает регулирующее воздействие - ток компаундирования, пропорциональный току нагрузки, который вводится в одну из обмоток регулирования или чаще в обмотку самовозбуждения возбудителя.

Почему токовое компаундирование мало пригодно для автоматического регулирования возбуждения синхронных компенсаторов.

Устройство токового компаундирования без корректора и с согласованным корректором может быть использовано только при работе компенсатора в режиме выдачи реактивной мощности, поскольку они могут только увеличивать ток возбуждения.

## **5. Фазовое компаундирование синхронных машин.**

Устройства АРВ могут быть выполнены на основе двух различных принципов автоматического управления. Первый принцип предусматривает создание разомкнутой автоматической системы управления, т.е. системы управления по возмущающему воздействию. Применительно к АРВ синхронных машин это означает, что возбуждение машины автоматически изменяется в зависимости от значения параметра возмущающего воздействия, влияющего на напряжение на зажимах машины. Если,



например, в качестве возмущающего воздействия на вход АРВ подается значение тока статора  $I_{ст}$ , то АРВ носит название токового компаундирования. Если в качестве возмущающих воздействий учитываются ток статора и фазовый сдвиг тока статора по отношению к напряжению статора, то имеет место фазовое компаундирование синхронной машины.

В соответствии со вторым принципом АРВ выполняется в виде замкнутой автоматической системы управления и представляет собой регулятор по отклонению напряжения, который реагирует на разность фактического и заданного значений напряжения статора синхронной машины и, воздействуя на систему возбуждения машины, стремится свести эту разность к нулю.

#### **1.4 Лекция №4 ( 2 часа).**

**Тема: «Задачи расчета электрических сетей»**

##### **1.4.1 Вопросы лекции:**

1. Падение и потеря напряжения в трехфазных линиях переменного тока
2. Понятие «регулирование напряжения».
3. Расчет электрических сетей по экономическим показателям
4. Приведенные затраты на передачу электрической энергии на передачу электрической энергии.
5. Потери электрической энергии в линиях и трансформаторах.
6. Влияние коэффициента мощности нагрузки на потери электрической энергии.
7. Выбор проводов по экономической плотности тока и экономическим интервалам
8. Выбор сечений проводов по минимуму расхода металла.

##### **1.4.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Падение и потеря напряжения в трехфазных линиях переменного тока.**

Потери напряжения в линии

Для понимания, что такое потеря напряжения, рассмотрим векторную диаграмму напряжения трехфазной линии переменного тока (рис. 1) с одной нагрузкой в конце линии (I).

Предположим, что вектор тока разложен на составляющие  $I_a$  и  $I_r$ . На рис. 2 в масштабе построены векторы фазного напряжения в конце линии  $U_{3ф}$  и тока  $I$ , отстающего от него по фазе на угол  $\varphi_2$ .

Для получения вектора напряжения в начале линии  $U_{1ф}$  следует у конца вектора  $U_{2ф}$  построить в масштабе напряжения треугольник падений напряжения в линии (abc). Для этого вектор  $ab$ , равный произведению тока на активное сопротивление линии ( $IR$ ), отложен параллельно току, а вектор  $bc$ , равный произведению тока на индуктивное сопротивление линии ( $IX$ ), — перпендикулярно вектору тока. При этих условиях прямая, соединяющая точки  $O$  и  $c$ , соответствует величине и положению в пространстве вектора напряжения в начале линии ( $U_{1ф}$ ) относительно вектора напряжения в конце линии ( $U_{2ф}$ ). Соединив концы векторов  $U_{1ф}$  и  $U_{2ф}$ , получим вектор падения напряжения на полном сопротивлении линии  $ac=IZ$ .

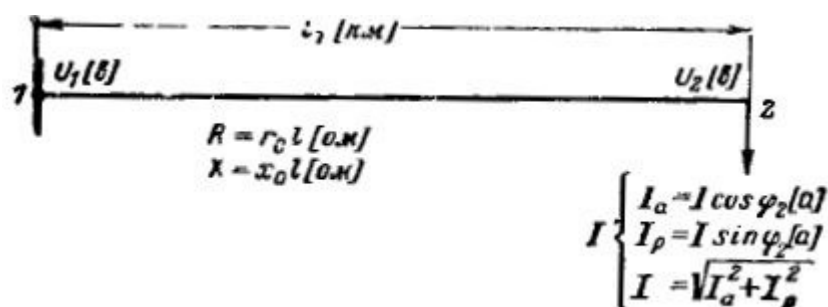


Рис. 1. Схема с одной нагрузкой на конце линии

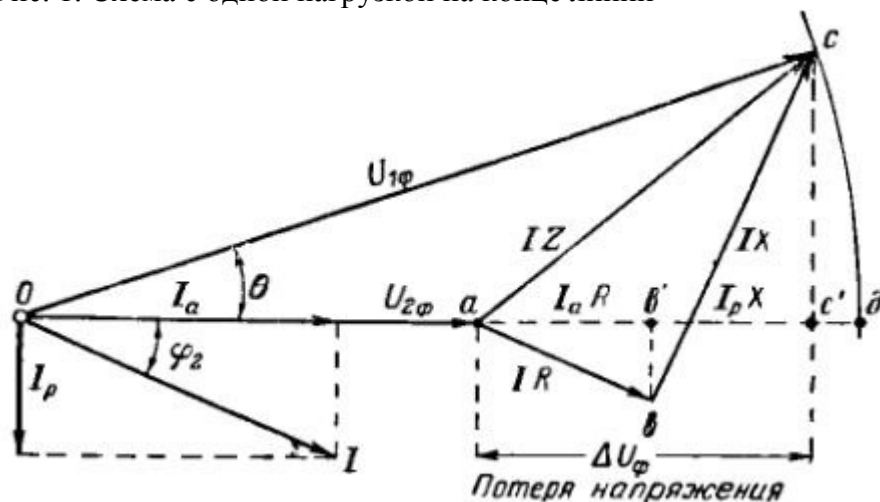


Рис. 2. Векторная диаграмма напряжений для линии с одной нагрузкой. Потери напряжения в линии.

Условились называть потерей напряжения алгебраическую разность фазных напряжений в начале и конце линии, т. е. отрезок  $ad$  или почти равный ему отрезок  $ac'$ .

## 2. Понятие «регулирование напряжения».

Для регулирования пускового тока и напряжения, подводимого к электродвигателю, в якорную цепь последовательно якорю (или якорю и обмотке возбуждения в случае двигателя последовательного возбуждения) подключают резисторы:

Таким образом, регулируется ток, подводимый к электрической машине. Контактные  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  шунтируют резисторы при необходимости изменения какого-либо параметра или координаты электропривода. Этот способ довольно еще широко распространен, особенно в тяговых электроприводах, хотя ему сопутствуют большие потери в резисторах и, как следствие, довольно низкий КПД.

Система генератор-двигатель

В такой системе необходимый уровень напряжения формируется путем изменения потока возбуждения генератора:

Наличие в такой системе трех электромашин, больших массогабаритных показателей и длительного времени ремонта при поломках, а также дорогостоящего обслуживания и большую инерционность такой установки сделали КПД такой машины очень низким. Сейчас систем генератор-двигатель практически не осталось, все они активно заменяются на системы тиристорный преобразователь – двигатель ТП-Д, который обладает рядом преимуществ.

Тиристорный преобразователь – двигатель

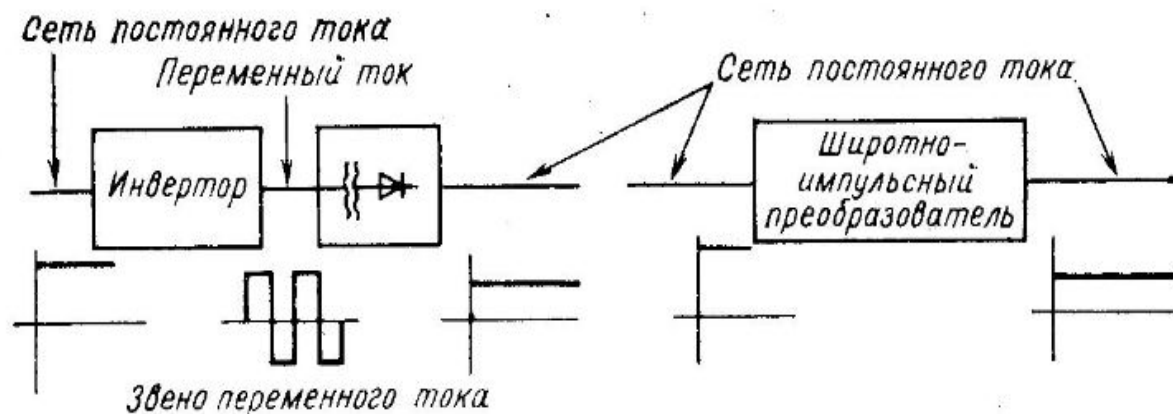
Получила свое массовое развитие в 60-х годах, когда начали появляться тиристоры. Именно на их базе были созданы первые статические маломощные тиристорные преобразователи. Такие устройства подключались напрямую к сетям переменного тока:

Регулирование напряжения происходит путем изменения угла открывания тиристора. Регулирование через тиристорный преобразователь имеет ряд преимуществ перед

установкой генератор-двигатель, такие как высокое быстродействие и КПД, плавное регулирование напряжения постоянного и много других.

**Преобразователь с промежуточным звеном постоянного напряжения**

Здесь все немного сложнее. Чтоб получить постоянное напряжение необходимой величины применяют еще вспомогательные устройства, а именно инвертор, трансформатор, выпрямитель:



Здесь постоянный ток преобразуют в переменный с помощью инвертора тока, потом с помощью трансформатора понижают или повышают (в зависимости от надобности), а потом снова выпрямляют. Значительно удорожает установку наличие трансформатора и инвертора, укрупняет систему, чем снижает КПД. Но есть и плюс – гальваническая развязка между сетью и нагрузкой из – за наличия трансформатора. На практике такие устройства встречаются крайне редко.

**Импульсные преобразователи постоянного напряжения**

Это пожалуй самые современные устройства регулирования в цепях постоянного тока. Его можно сравнить с трансформатором, поскольку поведение импульсного преобразователя подобно трансформатору с плавно меняющимся количеством витков.

Такие системы активно заменяют электроприводы с резистивным регулированием, путем подключения их к якорию машины последовательно, вместо резистивно-контакторной группы. Их довольно часто применяют в электрокарах, а также довольно большую популярность они обрели в подземном транспорте (метрополитен). Такие преобразователи выделяют минимум тепла, что не нагревает тоннелей и могут реализовывать режим рекуперативного торможения, что является большим плюсом для электроприводов с частым пуском и торможением.

Большим плюсом таких устройств есть то, что они могут осуществить рекуперацию энергии в сеть, плавно регулируют скорость нарастания тока, обладают высоким КПД и быстродействием.

### 3. Расчет электрических сетей по экономическим показателям.

К экономическим показателям электрической сети относятся:

- капитальные вложения в линии электропередачи, в подстанции и сеть в целом;
- численность персонала, обслуживающего сеть;
- себестоимость электропередачи и распределения электрической энергии в сети.

#### 1. Капитальные вложения в электрическую сеть

Расчет капитальных вложений в электросетевое строительство ведется по укрупненным показателям стоимости элементов электрической сети.

В приложениях к данным методическим указаниям приведены укрупненные показатели стоимости элементов электрических сетей в ценах 1984 года. Поэтому при определении

капитальных вложений на момент расчета следует ввести коэффициент переоценки  $k_n$  (его значение согласовывается с преподавателем при выполнении расчетов).

Капитальные вложения в воздушные линии электропередачи сети определяются по формуле:

$$K^{БЛ} = \sum_{i=1}^n K_i^{БЛ} = K_1^{БЛ} + \dots + K_n^{БЛ}, \quad \text{тыс.руб.}, \quad (40)$$

где  $K_i^{БЛ}$  - капитальные вложения в отдельные воздушные линии или участки воздушных линий сети; определяется по формуле:

$$K_i^{БЛ} = K_{\text{пл}}^{БЛ} \times L_i^{БЛ} \times k_{\text{п}}, \quad \text{тыс.руб.}, \quad (41)$$

где  $K_{\text{пл}}^{БЛ}$  - стоимость сооружения 1 км i-й воздушной линии, тыс.руб./км (приведена в приложениях 15-18);

$L_i^{БЛ}$  - длина i-й воздушной линии или участка линии, км;

$k_{\text{п}}$  - коэффициент переоценки.

Стоимости сооружения 1 км воздушной линии со сталеалюминевыми проводами приведены в зависимости от номинального напряжения линии, сечения проводов, материала и конструкции опор, района по гололеду.

Стоимости учитывают все затраты по объектам производственного назначения (без ремонтных баз, специальных переходов и за вычетом возвратных сумм) при условии сооружения линии вне населенных пунктов в равнинной местности и для расчетного напора ветра до 6 Н/м<sup>2</sup>. Для других условий прохождения трассы линии необходимо применять поправочные коэффициенты из таблицы 3.2.

Для участков трассы линии, проходящих по лесу, следует дополнительно учитывать стоимость вырубки просеки:

Таблица 3.2

|  |        |     |
|--|--------|-----|
| Напряжение ВЛ, кВ                                      | 35-115 | 220 |
| Стоимость вырубки просеки в ценах 1990 г., тыс.руб./км | 1,3    | 1,5 |

Расчеты капиталовложений в воздушные линии электропередачи удобно вести в форме таблицы 3.3 для каждого уровня напряжения отдельно.

Таблица 3.3. Расчет капиталовложений в воздушные линии электрической сети

| Обозначение ВЛ или порядковый номер                              | Напряжение, кВ | Район по гололеду | Марка провода | Количество цепей | Тип опор | Длина линии, км | Стоимость, тыс.руб. |       |
|--|----------------|-------------------|---------------|------------------|----------|-----------------|---------------------|-------|
|  |                |                   |               |                  |          |                 | 1 км                | всего |
| 1-2 и т.д.   |                |                   |               |                  |          |                 |                     |       |
| Итого по всем ВЛ данного уровня напряжения $\times k_{\text{п}}$ |                |                   |               |                  |          |                 |                     |       |

## 2. Капитальные вложения в кабельные линии электропередачи

Они определяются по тем же формулам, что и для воздушных линий, т.е.

$$K^{КЛ} = \sum_{i=1}^n K_i^{КЛ} + \dots + K_n^{КЛ} \quad \text{тыс.руб.}, \quad (42)$$

где  $K_i^{КЛ}$  - капитальные вложения в отдельные кабельные линии или участки кабельных линий сети,

$$K_i^{КЛ} = K_{\text{пл}}^{КЛ} \times L_i^{КЛ} \times k_{\text{п}}, \quad \text{тыс.руб.}, \quad (43)$$

где  $K_{\text{пл}}^{КЛ}$  - стоимость сооружения 1 км i-й кабельной линии, тыс.руб./км (приведена в приложениях 19-20);

$L_i^{КЛ}$  - длина i-й кабельной линии или участка линии, км.

Капиталовложения учитывают затраты на кабель, оборудование, строительно-монтажные работы, специальные переходы (ж/д узлы, магистральные автодороги, реки и т.п.),

разборку и восстановление асфальтовых покрытий. Расчеты по капиталовложениям в кабельные линии рекомендуется вести в виде таблицы 3.4.

Таблица 3.4. Расчет капиталовложений в кабельные линии электрической сети

| Обозначение<br>КЛ или ее<br>порядковый<br>номер                   | Напряжение,<br>кВ | Марка<br>кабеля | Сечение,<br>мм <sup>2</sup> | Длина<br>линии, км | Стоимость, тыс.руб. |       |
|---|-------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-------|
|   |                   |                 |                             |                    | 1 км                | всего |
| 1-2 и т.д.  |                   |                 |                             |                    |                     |       |
| Итого по всем КЛ данного уровня напряжения $\times k_{\text{пл}}$ |                   |                 |                             |                    |                     |       |

На основании выполненных расчетов надо определить среднее значение удельных капиталовложений в линии для каждого уровня напряжения отдельно:

$$K_{\text{уд}}^{\text{ВЛ}} = \frac{K^{\text{ВЛ}}}{\sum_{i=1}^n L_i^{\text{ВЛ}}} \quad \text{тыс.руб./км},$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{КЛ}} = \frac{K^{\text{КЛ}}}{\sum_{i=1}^n L_i^{\text{КЛ}}} \quad \text{тыс.руб./км}.$$

#### 4. Приведенные затраты на передачу электрической энергии.

Затраты сетевых компаний, исходя из производственной структуры, включают затраты по ЛЭП ( $I_{\text{ЛЭП}}$ ) и трансформаторным подстанциям ( $I_{\text{ПС}}$ )

$$I_{\text{сн.комп}} = I_{\text{ЛЭП}} + I_{\text{ПС}}.$$

Совокупные затраты сетевой компании отражаются в смете затрат и калькуляции. В составе **материальных затрат** учитываются и планируются:

- затраты на вспомогательные материалы (затраты на смазочные, изоляционные, обтирочные материалы, трансформаторное масло для заливки трансформаторов и масляных выключателей, а также быстроизнашивающиеся предметы);
- стоимость услуг производственного характера (расходы по оплате работ, выполняемых вспомогательными службами и сторонними организациями, в том числе по перевозке материалов, испытанию оборудования, обработке, сушке и испытанию трансформаторного масла. В составе данных затрат в смете затрат ФСК отражается стоимость услуг АО-энерго по ремонтно-эксплуатационному обслуживанию высоковольтных ЛЭП, переданных в имущественный комплекс ФСК, а также стоимость услуг ОРУ атомных электростанций);

- затраты на топливо (стоимость горючего для обычных автотранспортных средств, а также автотранспортных средств и механизмов специализированных для проведения эксплуатационных работ в полевых условиях - осмотр трасс ЛЭП, производство коммутационных переключений на необслуживаемых трансформаторных подстанциях);

**Стоимость потерь** при передаче электроэнергии по электрическим сетям определяется по формуле:

$$I_{\text{пот}} = \varepsilon_{\text{пот}}^{\text{норм}} \cdot T,$$

где  $\varepsilon_{\text{пот}}^{\text{норм}}$  – нормативные потери при передаче энергии;  $T$  – тариф на электроэнергию.

В расходах сетевых компаний, относимых на себестоимость, данные затраты учитываются в размере нормативных потерь электроэнергии, в то время как источником покрытия сверхнормативных потерь является прибыль.

Стоимость потерь при передаче электроэнергии по высоковольтным сетям ЕНЭС оценивается по тарифу на покупку электроэнергии с оптового рынка. Стоимость потерь в сетях распределительных электросетевых компаний – по тарифу на электроэнергию на розничном рынке.

**Амортизационные отчисления** на реновацию ОПС сетевых компаний учитываются и планируются в соответствии с первоначальной (восстановительной) стоимостью ОПС и нормами амортизации, определяемыми по сроку полезного использования сетевых объектов. Основные производственные средства сетевых компаний относятся к категории пассивных ОПС, вследствие чего по ним начисляется обычная (не ускоренная) амортизация.

Нормы амортизационных отчислений по электрическим сетям зависят:

- по воздушным ЛЭП – от вида опор (деревянные, железобетонные, металлические), которые в свою очередь определяют уровень напряжения передачи;
- по кабельным сетям – от характера прокладки кабелей (в земляных траншеях, в трубах, в кабельных туннелях) и от уровня напряжения передачи.

Ввиду высокой капиталоемкости сетевых объектов амортизационные отчисления в затратах на передачу и распределение энергии составляют до 30% и более.

## **5. Потери электрической энергии в линиях и трансформаторах.**

Потери электроэнергии в трансформаторах – один из видов технических потерь электроэнергии, обусловленных особенностями физических процессов, происходящих при передаче энергии. Передача электрической энергии от источника к конечному потребителю неизбежным образом связана с потерей части мощности и энергии в системе электроснабжения. Сюда относятся потери в линиях электропередач и потери электроэнергии в трансформаторах.

Устройство стандартного двухобмоточного трансформатора включает замкнутый сердечник (магнитопровод), представляющий собой набор пластин из трансформаторной стали, и две обмотки: к генератору (первичная) и к нагрузке (вторичная). Эффект трансформации при этом возникает из-за разного количества витков в обмотках. Потери электроэнергии в трансформаторе такой конфигурации складываются из:

- } потерь на нагревание обмоток трансформатора;
- } потерь на нагревание сердечника;
- } потери на перемагничивание сердечника.

Величина потерь электроэнергии в трансформаторе зависит, главным образом, от качества, конструкции и материала трансформаторной стали, из которой изготовлен сердечник. Потери электроэнергии намного больше в случае, если сердечник имеет монолитную конструкцию, поэтому на практике сегодня монолитные сердечники не применяются. Для дополнительной изоляции друг от друга пластины сердечника лакируются.

Величина указанных потерь и КПД работы трансформатора определяется также величиной передаваемого напряжения и мощностью. Чем больше мощность трансформатора, тем выше КПД и ниже уровень потерь. При правильной конструкции коэффициент полезного действия трансформатора составляет 97-99%. Потери электроэнергии в трансформаторах определяются также длительностью их работы, поэтому одним из ключевых условий, обеспечивающих снижение потерь электроэнергии в трансформаторах, является отключение их при малых нагрузках. Это возможно осуществить, если в ночное время, а также в выходные и праздничные дни питать работающие электроустановки, количество которых не особо велико, от одного трансформатора. Данная возможность обеспечивается наличием перемычек между подстанциями на низшем напряжении.

## 6. Влияние коэффициента мощности нагрузки на потери электрической энергии.

Устойчивый режим работы потребителей при постоянстве частоты в системе создается при устойчивом режиме напряжения в нагрузочном узле. Для этого необходимо соблюдение баланса по реактивной мощности – сти между источниками и потребителями. Увеличение потребления реактивной мощности ( кратковременное или продолжительное ) При отсутствии достаточной мощности источников приводит к снижению напряжения, а при достижении определенного критического значения  $U_{кр}$  – к опрокидыванию и остановке электродвигателей. Применение поперечной емкостной компенсации в узлах нагрузки существенно сказывается на характере протекания процесса при изменении напряжения в питающей сети, так как генерируемая конденсаторами реактивная мощность убывает со снижением напряжения пропорционально квадрату напряжения. Статические характеристики нагрузки при наличии поперечной Емкостной компенсации 202 Взаимное влияние нагрузки и напряжения называется регулирующим эффектом нагрузки. Он характеризует степень снижения активной и особенно реактивной нагрузки при уменьшении напряжения на ее зажимах. Значение регулирующего эффекта нагрузки по напряжению равняется производным  $dP/dU$  и  $dQ/dU$ . Снижение потребляемой мощности ( особенно реактивной) при уменьшении напряжения замедляет его снижение. Чем больше наклон статических характеристик  $P = f(U)$  и  $Q = f(U)$  в рабочей области, то есть больше регулирующий эффект нагрузки, тем благоприятнее условия для устойчивости узла нагрузок. При нарушении устойчивости нагрузок происходит опрокидывание асинхронных двигателей и выпадение из синхронизма синхронных машин.

## 7. Выбор проводов по экономической плотности тока и экономическим интервалам.

Установлены экономические плотности тока, по которым должны выбираться сечения проводов воздушных линий и жил кабелей.

Экономическая плотность тока определяется из табл. 8-1.

Сечение проводника по условию экономической плотности тока определяется по формуле

$$F_э = \frac{I}{j_э}, \text{ мм}^2 \quad (8-1)$$

где  $I$  - расчетный ток линии, а;

$j_э$  - экономическая плотность тока, а/мм кв., принимаемая по табл. 8-1.

Расчетный ток линии принимается из условий нормальной работы и при определении его не учитывается увеличение тока в линии при авариях или ремонтах в каких-либо элементах сети.

Полученное по (8-1) сечение проводника округляется до ближайшего стандартного сечения.

При пользовании табл. 8-1 необходимо руководствоваться следующим:

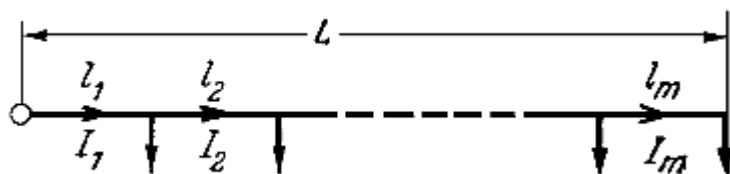
1. При максимуме токовой нагрузки в ночное время экономическая плотность тока повышается на 40%.

2. Для изолированных проводов сечением 16 мм кв. и менее экономические плотности тока увеличиваются на 40%.



3. Для линий с одинаковым сечением проводников по всей длине и различными нагрузками на отдельных участках их (рис. 8-1)

Рис. 8-1. Схема линии с различными токовыми нагрузками участков



Экономическая плотность тока для начального участка увеличивается по сравнению с величинами, указанными в табл. 8-1, в  $K_y$  раз; при этом коэффициент увеличения определяется по формуле

$$K_y = \sqrt{\frac{I_1^2 L}{I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2 + \dots + I_m^2 l_m}} \quad (8-2)$$

где  $I_1, I_2, \dots, I_m$  - токовые нагрузки отдельных участков линии;

$l_1, l_2, \dots, l_m$  - длины тех же участков линии;

$L$  - полная длина линии.

4. При выборе сечений проводников для питания ряда одностипных взаимно резервируемых электроприемников (например, насосов водоснабжения, преобразовательных агрегатов и т. п.) общим числом  $n$ , если известно, что все они одновременно не включаются и  $n_1$  из них поочередно находятся в работе, экономическая плотность должна быть увеличена против норм табл. 8-1 умножением на коэффициент

$$K_{y1} = \sqrt{\frac{n}{n_1}} \quad (8-3)$$

## 8. Выбор сечений проводов по минимуму расхода металла.

Экономические показатели линий электрических сетей в значительной степени зависят от правильности выбора сечений проводов ВЛ или жил кабелей (в дальнейшем сокращенно проводов). С увеличением сечения проводов линии возрастают затраты на ее сооружение КЛ и отчисления от них рКЛ, что изображено кривой I на рис. 15.1 (при этом условно предположено, что удельная стоимость 1 км линии зависит линейно от сечения  $F$  проводов). Одновременно уменьшаются потери энергии и их стоимость за год ИА (кривая II). Минимуму приведенных народнохозяйственных затрат З (кривая III) соответствует некоторое значение сечения, которое назовем экономическим ФЭК.

Из тех же кривых видно, что при сечениях, несколько меньших ФЭК, отчисления от капитальных вложений уменьшаются значительно быстрее, нежели увеличиваются приведенные затраты. Учитывая это, а также перспективный характер расчетных нагрузок сети, экономически целесообразно принимать ближайшее стандартное сечение, меньшее ФЭК, так как при этом уменьшаются расходы металла и средств на сооружение сети при незначительном увеличении приведенных затрат. В связи с этим для определения сечения проводов рекомендуют экономические плотности тока.

### 1. 5 Лекция №5 ( 2 часа).

**Тема: «Выбор сечений проводов внутренних проводок по нагреву и расчет электрических сетей по допустимой потере напряжения»**

#### 1.5.1 Вопросы лекции:

1. Нагревание проводов и кабелей током нагрузки.



2. Длительно допустимые нагрузки для проводов и кабелей разных марок в зависимости от условий прокладки.
3. Выбор сечений проводов, плавких ставок предохранителей и автоматических выключателей в сетях напряжением до 1 кВ
4. Расчет разомкнутых линий трехфазного тока с неравномерной нагрузкой фаз.
5. Расчет линий с двухсторонним питанием.

### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Нагревание проводов и кабелей током нагрузки.**

Релейной защитой называют специальные средства и устройства для защиты, выполняемые с помощью реле, процессоров, блоков и других аппаратов, и предназначенные для отключения силовых выключателей при напряжении свыше 1000 В или автоматических выключателей при напряжении до 1000 В. Более часто термин РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА используется в установках и сетях высокого напряжения. К системам автоматики в настоящей работе отнесены устройства АПВ, АВР, АЧР, АРТ.

РЗ. – основное средство защиты линий, трансформаторов, генераторов, двигателей от аварийных и ненормальных режимов.

##### **1.1 Требования, предъявляемые к релейной защите**

К релейной защите предъявляются следующие требования:

- селективность (избирательность), т.е. способность защиты самостоятельно определять поврежденный участок сети и отключать только этот участок;
- быстродействие;
- надежность действия;
- чувствительность (т.е. способность отключать поврежденные участки на начальной стадии повреждения);
- простота схемы.

Устройства РЗ могут контролировать следующие параметры: ток, напряжение, мощность, температуру, время, направление и скорость изменения контролируемой величины.

##### **1.2 Функции релейной защиты**

Устройства РЗ могут выполнять следующие функции:

- защита от К.З междуфазных,
- защита от замыканий на землю, в т. ч. 2х-3х и однофазных
- защита от минимального напряжения;
- защита от внутренних повреждений в обмотках двигателей, генераторов и трансформаторов.
- защита от асинхронного режима работы синхронных двигателей.
- защита от обрывов в роторной цепи мощных двигателей.
- защита от затянувшегося пуска
- дифференциальная защита (продольная и поперечная) крупных машин и линий.

##### **1.3 Оперативный ток**

Оперативный ток предназначен для питания цепей управления, защиты, сигнализации и т.п. Оперативным током питаются приводы всех коммутационных аппаратов подстанций. Оперативный ток может быть переменным и постоянным, величина напряжения обычно составляет 110-220 В. Оперативный ток на ответственных подстанциях и установках должен быть всегда, даже при потере питания главных цепей, поэтому оперативный ток должен иметь независимые источники питания, в качестве которых могут использоваться: аккумуляторные установки, выпрямители, генераторы, специальные блоки питания.

#### 1.4 Элементная база РЗ

В качестве основных элементов релейной защиты применяются реле, в том числе электромагнитного или других принципов действия, а также полупроводниковые и микроэлектронные приборы и блоки.

Основные реле. В схемах РЗиА применяется много типов различных реле, а в последние годы - специальных блоков и процессоров, объединяемых в локальную компьютерную сеть. В качестве основных применяются реле тока, напряжения, мощности, частоты, дифференциальные реле и блоки дифференциальной защиты.

### 2. Длительно допустимые нагрузки для проводов и кабелей разных марок в зависимости от условий прокладки.

#### 2.1 Пусковые органы

Пусковые органы непрерывно контролируют состояние и режим работы защищаемого участка цепи и реагируют на возникновение коротких замыканий и нарушения нормального режима работы. Выполняются обычно с помощью реле тока, напряжения, мощности и др.

#### 2.2 Измерительные органы

Измерительные органы определяют место и характер повреждения и принимают решения о необходимости действия защиты. Измерительные органы также выполняются с помощью реле тока, напряжения, мощности и др. Функции пускового и измерительного органа могут быть объединены в одном органе.

#### 2.3 Логическая часть

Логическая часть — это схема, которая запускается пусковыми органами и, анализируя действия измерительных органов, производит предусмотренные действия (отключение выключателей, запуск других устройств, подача сигналов и пр.). Логическая часть состоит, в основном, из элементов времени (таймеров), логических элементов, промежуточных и указательных реле, дискретных входов и аналоговых выходов микропроцессорных устройств защиты.

#### 2.4 Пример логической части релейной защиты

Катушка реле тока К1 (контакты А1 и А2) включена последовательно со вторичной обмоткой трансформатора тока ТА. При коротком замыкании, на участке цепи, в котором установлен трансформатор тока, возрастает сила тока, и пропорционально ей возрастает сила тока во вторичной цепи трансформатора тока. При достижении силой тока значения уставки реле К1, оно сработает и замкнёт рабочие контакты (11 и 12). Цепь между шинками +ЕС и -ЕС замкнётся, и запитаёт сигнальную лампу HLW. Данная схема приведена как простой пример. В эксплуатации используются более сложные логические схемы.

### 3. Выбор сечений проводов, плавких ставок предохранителей и автоматических выключателей в сетях напряжением до 1 кВ.

Повреждения вызывают появление значительных аварийных токов и сопровождаются глубоким понижением напряжения на шинах ЭС и ПС. Ток повреждения выделяет большое количество теплоты, которое вызывает сильное разрушение в месте повреждения и опасное нагревание проводов неповрежденных ЛЭП и оборудования, по которым этот ток проходит. Понижение напряжения нарушает нормальную работу потребителей электроэнергии и устойчивость параллельной работы ЭС энергосистемы. (ЭЭС).

Ненормальные режимы обычно приводят к отклонению напряжения, тока и частоты от допустимых значений. При понижении частоты и напряжения создается опасность нарушения нормальной работы потребителей и устойчивости ЭЭС, а повышение напряжения и тока угрожает повреждением оборудования и ЛЭП.

Для уменьшения разрушений в месте повреждения и обеспечения нормальной работы неповрежденной части ЭЭС необходимо возможно быстрее выявлять и отделять место повреждения от неповрежденной части ЭЭС. Опасные последствия ненормальных режимов так же можно предотвратить, если своевременно принять меры к их устранению (например, снизить ток или напряжение при их увеличении), а при необходимости отключить оборудование, оказавшееся в недопустимом для него режиме.

Короткие замыкания, возникающие в электрических сетях, машинах и аппаратах, отличаются большим разнообразием как по виду, так и по характеру повреждения. Для упрощения расчетов и анализа поведения релейной защиты при повреждениях исключаются отдельные факторы, не оказывающие существенного влияния на величины токов и напряжений. В частности, как правило, не учитывается при расчетах переходное сопротивление в месте к. з. и все повреждения рассматриваются как «глухое» или, как говорят, «металлическое» соединение фаз между собой или на землю для сети с заземленной нейтралью. Не учитываются токи намагничивания силовых трансформаторов и емкостные токи линий напряжением до 330—500 кВ. Сопротивления всех трех фаз считаются одинаковыми.

#### **4. Расчет разомкнутых линий трехфазного тока с неравномерной нагрузкой фаз.**

Междуфазные короткие замыкания — двухфазные и трехфазные — возникают как в сетях с заземленной, так и в сетях с изолированной нейтралью. Однофазные короткие замыкания могут происходить только в сетях с заземленной нейтралью.

Основными причинами, вызывающими повреждения на линиях, являются перекрытия изоляции во время грозы, схлестывание и обрывы проводов при гололеде, набросы, перекрытия загрязненной и увлажненной изоляции, ошибки персонала и др.

##### **4.1 Трехфазное короткое замыкание**

Симметричное трехфазное короткое замыкание — наиболее простой для расчета и анализа вид повреждения. Он характерен тем, что токи и напряжения во всех фазах равны по величине как в месте к. з., так и в любой другой точке сети: Так как все фазные и междуфазные напряжения в месте трехфазного короткого замыкания равны нулю, а в точках, удаленных от места к.з. на небольшое расстояние, незначительны по величине, рассматриваемый вид повреждения представляет наибольшую опасность для работы энергосистемы.

##### **4.2 Двухфазное короткое замыкание**

При двухфазном к.з. токи и напряжения разных фаз неодинаковы. С точки зрения влияния на устойчивость параллельной работы генераторов и на работу электродвигателей рассматриваемый вид повреждения представляет значительно меньшую опасность, чем трехфазное короткое замыкание.

##### **4.3 Двухфазное короткое замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью**

Этот вид повреждения для сетей с изолированной нейтралью практически не отличается от двухфазного короткого замыкания. Токи, проходящие в месте к. з. и в ветвях рассматриваемой схемы, а также междуфазные напряжения в разных точках сети имеют те же самые значения, что и при двухфазном к. з.

В сетях же с заземленной нейтралью двухфазное к. з. на землю значительно более опасно, чем двухфазное короткое замыкание. Это объясняется более значительным снижением междуфазных напряжений в месте короткого замыкания, так как одно междуфазное напряжение уменьшается до нуля, а два других — до величины фазного напряжения неповрежденной фазы.

##### **4.4 Однофазное короткое замыкание в сети с заземленной нейтралью**

Однофазное короткое замыкание может иметь место только в сетях с заземленной нейтралью (как правило, с заземленной нейтралью работают сети напряжением 110 кВ и

выше). Однофазные короткие замыкания, сопровождающиеся снижением до нуля в месте повреждения одного

фазного напряжения, представляют меньшую опасность для нормальной работы энергосистемы, чем рассмотренные выше междуфазные к. з.

Однофазное замыкание на землю в сети с малым током замыкания на землю

В сетях с малыми токами замыкания на землю, к которым относятся сети 3—35 кВ, работающие с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через дугогасящую катушку, замыкания одной фазы на землю сопровождаются значительно меньшими токами, чем короткие замыкания.

Для снижения тока замыкания на землю применяются специальные компенсирующие устройства — дугогасящие катушки, которые подключаются между нулевыми точками трансформаторов или генераторов и землей. В зависимости от настройки дугогасящей катушки ток замыкания на землю уменьшается до нуля или до небольшой остаточной величины. Поскольку токи замыкания на землю имеют небольшую величину, а все междуфазные напряжения остаются неизменными, однофазное замыкание на землю не представляет непосредственной опасности для потребителей. Защита от этого вида повреждения, как правило, действует на сигнал.

Однако длительная работа сети с заземленной фазой нежелательна, так как длительное прохождение тока в месте замыкания на землю, а также повышенные в 1,73 раза напряжения неповрежденных фаз относительно земли могут привести к пробоем или повреждению их изоляции и возникновению двухфазного к. з. Поэтому согласно Правилам технической эксплуатации допускается работа сети с заземлением одной фазы только в течение 2 ч. За это время оперативный персонал с помощью устройств сигнализации должен обнаружить и вывести из схемы поврежденный участок.

В сетях, питающих торфопредприятия и передвижные строительные механизмы, для обеспечения условий безопасности обслуживающего персонала защита от замыканий на землю выполняется с действием на отключение.

## **5. Расчет линий с двухсторонним питанием.**

**Радиальные и замкнутые сети.** В сельском хозяйстве преобладают разомкнутые — радиальные электрические сети (рис. 5.20, а). При сооружении радиальных сетей требуется наименьший расход средств и материалов. Однако у них есть существенный недостаток. При повреждении линии, особенно в ее начале, прекращается электроснабжение всех потребителей, присоединенных к ней. В сельском хозяйстве появляется все больше потребителей, перерывы в электроснабжении которых приводят к значительным потерям урожая, животноводческой продукции и т.п. Электроснабжение ответственных потребителей должно быть надежным. Такому требованию радиальные сети удовлетворяют не полностью. Вот почему применяют замкнутые электрические сети. Замкнутой называют электрическую сеть, магистральные линии которой получают питание не менее чем с двух сторон. В этой сети (рис. 5.20, б) обрыв магистрали в любом месте не нарушает электроснабжения потребителей. Так, нагрузка 3 при обрыве линии на участке 2—3 будет получать питание по нижней ветви схемы, а при обрыве на участке 3—4—по верхней.

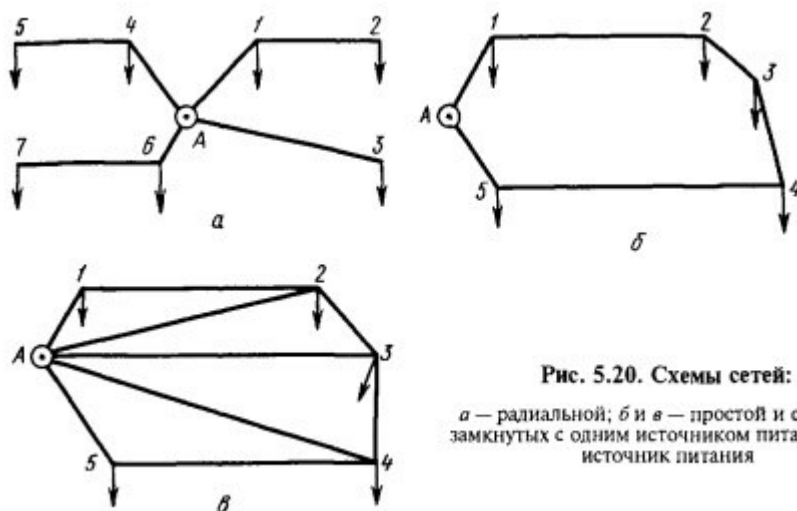


Рис. 5.20. Схемы сетей:  
а — радиальной; б и в — простой и сложной замкнутых с одним источником питания; А — источник питания

Если в сети будут проведены дополнительные внутренние линии А—2, А—3 и А—4 (рис. 5.20, в), то точки 2...4 получают питание с трех сторон и их называют узловыми или узлами, а сеть с узловыми точками — сложной замкнутой. В этой сети при обрыве линии на любом из участков электроснабжение всех потребителей более надежно, чем в простой замкнутой сети.

Сети, изображенные на рисунке 5.20, б и в, снабжены источником питания А. При выходе его из строя прекращается электроснабжение всех потребителей этих сетей. Для повышения его надежности нужно увеличить число источников питания в сети.

Простая замкнутая сеть с двумя источниками питания А и В (рис. 5.21) называется линией с двухсторонним питанием. В такой линии обрыв проводов и даже выход из строя одного из источников питания не нарушают электроснабжения всех или большей части потребителей электроэнергии.

Сложная замкнутая сеть (рис. 5.22) с несколькими источниками питания обеспечивает наиболее высокую надежность электроснабжения.

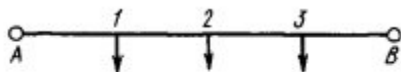


Рис. 5.21. Схема линии с двухсторонним питанием

Недостатки замкнутых сетей заключаются в значительно большей стоимости и расходе материалов. Кроме того, защита замкнутых сетей от коротких замыканий сложнее, чем защита радиальных. Этим и объясняется, что замкнутые сети в сельском хозяйстве применяют недостаточно. Их используют в виде линий с двухсторонним питанием (см. рис. 5.21), которые служат линиями связи сельских подстанций и иногда электростанций, работающих совместно в электрических системах. Во многих случаях применяют также простые замкнутые сети с одним или двумя источниками питания (см. рис. 5.20, б), которые замыкают только при аварии или ремонте. Поскольку в сельском хозяйстве используют сложные замкнутые сети (см. рис. 5.20, в и 5.21), способы их расчета рассмотрены в настоящем курсе.

## 1. 6 Лекция №6 ( 2 часа).

**Тема: «Характеристика производственных и коммунально-бытовых потребителей сельского хозяйства»**

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Электрические нагрузки, графики электрических нагрузок суточные, годовые, годовые по продолжительности, время использования максимума нагрузок и время максимальных потерь.
2. Понятие установленной и максимальной расчетной мощностей, расчетного периода

### **1.6.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Электрические нагрузки, графики электрических нагрузок суточные, годовые, годовые по продолжительности, время использования максимума нагрузок и время максимальных потерь.**

Для локализации аварий и ликвидации аварийного режима работы электрических сетей применяются системы противоаварийной автоматики (ПА). В рамках комплексных проектов автоматизации реализует следующие ключевые системы ПА:

- АПНУ (автоматика прекращения нарушения устойчивости) представляет собой совокупность устройств ПА, обеспечивающих сохранение параллельной работы энергосистем, либо отдельных регионов с одним из объединений при возникновении различных аварийных возмущений в сети 500-220 кВ.

Пусковыми устройствами для АПНУ являются:

- устройства ФОЛ фиксирующие отключение ВЛ со своей стороны;
- цепи приема ФОЛ по ВЧ каналам или каналам ВОЛС, фиксирующие отключение ВЛ с противоположной стороны.

Пускодозирующим устройством для АПНУ являются устройства фиксации перегруза ВЛ по мощности, имеющие также второе название автоматики наброса мощности (АНМ).

-АДВ (автоматика дозирования воздействия) также входит в подсистему АПНУ. Устройство АДВ формируют сигналы противоаварийного управления, в следующих случаях:

- отключение отходящих или удаленных ВЛ-500 кВ с контролем предшествующего перетока мощности по ВЛ или по сечению;
- при набросе мощности на отходящих ВЛ;
- при приеме управляющих сигналов ПА, сформированных на других объектах.

Устройства АДВ могут действовать на отключение генераторов электростанций (пуск команды ОГ) или отключение нагрузки (пуск команды ОН).

Реализация сигналов ОГ осуществляется воздействием на закрытие стопорных и регулирующих клапанов турбины с последующим отключением выключателей от технологических защит.

-АЧР (автоматическая частотная разгрузка) входит в подсистему АОСЧ (автоматика ограничения снижения частоты) и действует на отключение части потребителей для предотвращения глубокого снижения частоты при возникновении значительного дефицита мощности.

Отключение происходит несколькими очередями, отличающимися уставками по частоте и времени. После восстановления частоты происходит обратное включение потребителей действием ЧАПВ (частотное АПВ).

Система АЧР выполнена «самоадаптирующейся», т. е. при любом снижении частоты и дефиците активной мощности отключается необходимое количество потребителей с некоторым запасом в 5–10 %. Отключение и подключение потребителей осуществляется с соблюдением их категории надежности. По принципу действия и назначению система АЧР делится на две очереди:

- АЧР-1 – быстро действующая категория разгрузки, предназначенная для быстрого отключения значительной части нагрузки. Выполняется с минимальной выдержкой

времени при глубокой посадке частоты с разбивкой на очереди, через 0,1–0,2 Гц.

- АЧР-2 – медленно действующая категория разгрузки. Предназначена для подъема частоты в узле, после действия АЧР-1, а также для предотвращения зависания частоты на недопустимом уровне, менее 46 Гц, выполнена в узком диапазоне частот и в интервале времени от 5 сек. до нескольких минут с разбивкой по очереди через 5–10 сек.

При возникновении большого дефицита активной мощности, сопровождающегося глубокой посадкой частоты, требуется быстрое отключение нагрузки. Здесь действует АЧР-1 со своими очередями, а АЧР-2 работает на отключение потребителей с целью поднятия частоты.

При незначительном дефиците мощности, когда частота не снижается до уставок АЧР-1, работает только АЧР-2, балансируя потребление и затем, отключая не совмещенного потребителя, поднимает частоту. Указанные выше оба случая являются идеальными. Авария, как правило, сопровождается действием почти всех очередей обеих категорий АЧР.

- ЧДА (частотная делительная автоматика) – входит в подсистему АОСЧ и предназначена для отделения электростанций со сбалансированной нагрузкой при снижении частоты в энергосистеме, которое может привести к развитию аварии с потерей собственных нужд и полным остановом станции.

- Устройства АСН (автоматика ограничения снижения напряжения) предназначены для автоматического увеличения пропускной способности транзитных связей 500 кВ и действуют на отключение линейных или шинных реакторов 500 кВ.

Для предотвращения ложной работы АСН при потере цепей напряжения или при выводе в ремонт ВЛ, в устройствах АСН предусмотрена автоматическая блокировка по факту снижения напряжения до величины 0,2–0,4  $U_n$ .

-АРЛ (автоматика разгрузки линии), входит в подсистему АРО (автоматика разгрузки оборудования). АРЛ фиксирует возрастание тока по электропередаче, выше допустимого значения, из расчета сечения провода с выдержкой времени производит отключение передачи в месте установки. В АРЛ предусмотрены режим «зима» и «лето», для режима «зима» значение допустимой мощности больше на 25%.

-САОН (специальная автоматика отключения нагрузки) служит для предотвращения нарушения устойчивости энергосистемы либо отдельного энергоузла, при аварийном отключении или перегрузке питающих линий электропередачи.

САОН действует на отключение части менее ответственных потребителей с последующим их включением по решению соответствующего диспетчерского управления. Работа САОН может быть вызвана приемом команды ПА или по местным факторам, например снижение напряжения на шинах ПС.

## **2. Понятие установленной и максимальной расчетной мощностей, расчетного периода.**

К преимуществам реализации систем релейной защиты и противоаварийной автоматики относят:

Повышение надежности энергосистемы за счет исключения системных аварий и обеспечения устойчивости нагрузки при снижении напряжения  
Обеспечение ввода электрической сети в нормальный режим работы после аварий  
Повышение качества электроэнергии  
Предоставление оперативному персоналу достоверной информации в режиме реального времени состоянии работы оборудования и предупреждений об отклонениях от нормы  
Снижение влияния человеческого фактора за счет частичной автоматизации функций и сокращения числа ошибок персонала.

## **1. 7 Лекция №7 ( 2 часа).**

### **Тема: «Технология капитального ремонта электрооборудования»**

#### **1.7.1 Вопросы лекции:**

1. Общие вопросы капитального ремонта техники.
2. Виды ремонтов, источники их финансирования.
3. Значение, задачи, прогрессивные методы и организационные формы капитального ремонта.
4. Электроремонтные предприятия, их структура.

#### **1.7.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Общие вопросы капитального ремонта техники.**

Для включения и отключения цепей высокого напряжения под нагрузкой и при коротких замыканиях наибольшее распространение в электроэнергетике получили масляные и воздушные выключатели.

В масляных выключателях в качестве дугогасящей и изолирующей среды применено специальное электроизоляционное масло.

Операция включения, удержание во включенном положении и отключение масляного выключателя обеспечиваются посредством привода.

В зависимости от способа выполнения операции включения различают несколько разновидностей приводов: ручные, грузовые, пружинные, электромагнитные, электродвигательные и др.

Для отключения выключателя в качестве отключающего элемента используются электромагниты отключения, которые только освобождают в приводе удерживающее приспособление, а отключение механизма выключателя происходит под действием специальных отключающих пружин.

Команда на включение масляных выключателей во всех типах приводов прямая, за исключением электромагнитного привода, у которого команда на электромагнит включения подается косвенно, через промежуточный контактор. Такое «усиление» включающего импульса необходимо вследствие большой мощности, требуемой для производства операции включения.

У воздушного выключателя для гашения электрической дуги и управления подвижными элементами выключателя используется сжатый воздух, приготовленный в специальной компрессорной установке. Исполнительными органами для включения и отключения выключателя служат электромагниты, управляющие пневматическими клапанами.

##### **2. Виды ремонтов, источники их финансирования.**

Ремонт электрооборудования на промышленных предприятиях проводится в соответствии с принятой в нашем государстве системой планово-предупредительного ремонта (ППР). Периодичность и объем ремонтов устанавливаются системой ППР в зависимости от режимов работы, технического состояния и условий эксплуатации электрооборудования. Таким образом, система ППР - это система организационных и технических мероприятий, выполнение которых обеспечивает продолжительную и безаварийную работу электрооборудования.

Существуют три основные системы организации ППР электрооборудования промышленных предприятий: централизованная, децентрализованная и смешанная.



При централизованной системе ремонт выполняют несколько ремонтных служб, специализированных по видам электрооборудования или работ. Эти службы подчинены главному энергетiku предприятия. Персонал, обслуживающий электрооборудование цеха или подстанции, выполняет только работы по надзору и мелкому текущему ремонту.

Децентрализованная система характеризуется отсутствием специализированных ремонтных служб. Все электроремонтные работы выполняет персонал электроремонтных мастерских или бригад, находящихся в административном подчинении соответствующего начальника, например начальника цеха.

Смешанная система характеризуется тем, что в структуре предприятия имеются как электроремонтные мастерские и бригады, выполняющие небольшие по объему и сложности ремонтные работы, так и специализированные ремонтные службы, осуществляющие сложные и большие по объему работы.

В настоящее время для проведения технической диагностики (определения состояния оборудования и выявления неисправностей) и ремонта все более широко используются средства вычислительной и микропроцессорной техники (установки, стенды, устройства для диагностики и испытания электрооборудования), позволяющие сокращать сроки проведения ремонтов, уменьшать затраты на ремонт и повышать эффективность эксплуатации электрооборудования.

Одним из направлений повышения безопасности выполнения работ при диагностике воздушных линий электропередач высокого напряжения (ВН) является применение приборно-программно-го комплекса (ППК), устанавливаемого на легких летательных аппаратах. Такие комплексы широко используются энергокомпаниями Америки, Австралии и ряда стран Западной Европы. Подобные комплексы целесообразно использовать и в энергосистеме Беларуси, например, при регулярных осмотрах воздушных ЛЭП (напряжением 35-330 кВ и протяженностью 1845 км) в Борисовских электросетях, которые проводятся на легком самолете.

#### Виды ремонтов

Положением о ППР электрооборудования промышленных предприятий предусмотрено выполнение нескольких видов ремонта (текущего и капитального, среднего и капитального или текущего, среднего и капитального). На практике широко используется система, предусматривающая осуществление для большей части электрооборудования двух видов ремонта: текущего и капитального.

При текущем ремонте после осмотра всего электрооборудования устраняют мелкие дефекты, регулируют механизмы и выполняют ряд других небольших по объему работ (например, перезарядку предохранителей с заменой плавких вставок, зачистку подгоревших контактов аппаратов, замену изношенных щеток), позволяющих обеспечить нормальную работу электрооборудования до следующего планового ремонта. Текущие ремонты производят обычно без разборки электрооборудования в период кратковременных остановок производственного оборудования.

Средним считают ремонт, при котором предупреждают чрезмерный износ наиболее ответственных деталей и узлов электрооборудования. В этом случае заменяют отдельные детали, устраняют дефекты изоляции лобовых частей обмоток электродвигателей, ремонтируют щеткодержатели (меняют пружины и гибкие связи), шлифуют контактные кольца электродвигателей с фазным ротором и т. п.

При капитальном ремонте восстанавливают или заменяют отдельные основные детали и узлы электрооборудования. Например, к этому виду ремонта относят перемотку статорных или роторных обмоток электрических машин, перезаливку подшипников скольжения электродвигателей, изготовление и установку новых обмоток силовых трансформаторов.

Капитальный ремонт обычно производится при частичной или полной разборке электрооборудования. Иногда при капитальном ремонте электрических машин, трансформаторов и коммутационных аппаратов осуществляют их модернизацию, т. е.

совершенствуют конструкцию, улучшают эксплуатационные показатели, повышают надежность и другие характеристики. Главная цель модернизации заключается в приближении технических показателей ремонтируемого электрооборудования к техническим показателям нового, более совершенного оборудования. При этом затраты времени, средств и материалов на модернизацию электрооборудования должны быть оправданы теми техническими или экономическими результатами, которые будут достигнуты после его модернизации.

Если при капитальном ремонте осуществляется модернизация с изменением конструкции и основных технических параметров оборудования, то такой ремонт называют капитально-реконструктивным.

### **3. Значение, задачи, прогрессивные методы и организационные формы капитального ремонта.**

Постоянное возрастание затрат на ремонтнообслуживание требует изыскания более прогрессивных форм и методов ремонта оборудования. К таким формам и методам относятся специализация и централизация ремонта оборудования, расширение передовых методов ремонта (узловой), внедрение прогрессивной технологии ремонтных работ и их механизация, совершенствование организации труда ремонтного персонала и т.п.

Важнейшим направлением следует считать всемерное расширение централизованной формы организации ремонта на основе специализации ремонтных работ, т.е. развитие специализированных ремонтных предприятий и централизованное изготовление запасных частей. Организация специализированных предприятий создает условия для эффективного применения в ремонтном производстве высокопроизводительного оборудования и оснастки, прогрессивных технологических процессов и методов труда, свойственных серийному и поточному производству.

Централизация ремонта может осуществляться в масштабе отдельных предприятий, отраслей и народного хозяйства в целом. В масштабе завода могут создаваться крупные ремонтные цехи, осуществляющие производство запасных частей и капитальный ремонт оборудования.

В крупных цехах целесообразно создавать специализированные бригады по ремонту одномодельного оборудования, стандартных узлов различной аппаратуры.

При наличии большого количества заводов определенной отрасли в одном экономическом районе целесообразно при головном предприятии создать крупный ремонтный завод или цех отраслевого значения для производства запасных деталей и отдельных видов ремонта. Межотраслевая централизация целесообразна для ремонта наиболее массовых моделей оборудования с применением обменного парка оборудования при станкостроительной промышленности. При этом ремонт должны осуществлять либо заводы, производящие данное оборудование, либо специальные заводы.

Методы выполнения ремонтных работ многообразны:

- узловой;
- последовательно-узловой;
- «против потока».

Узловой метод заключается в замене изношенных узлов агрегата запасными, ранее изготовленными или отремонтированными. При этом время простоя оборудования значительно сокращается, так как большая часть ремонтных работ выполняется до вывода станка в ремонт.

При последовательно-узловом методе изношенные узлы агрегата ремонтируются не одновременно, а последовательно с использованием перерывов в работе агрегатов. Этот метод используется для ремонта оборудования, имеющего конструктивно обособленные узлы (агрегатные станки).

Метод «против потока» используется для ремонта поточноавтоматизированных линий и требует серьезной подготовительной работы.

Чаще всего оборудование этих линий ремонтируется одновременно с остановкой линии или отдельными участками с широким использованием узловых методов.

Необходимой предпосылкой для специализации ремонта является совершенствование структуры станочного парка путем сокращения количества типоразмеров и моделей базовых машин и агрегатов, выпускаемых в станкостроении и заводами машиностроения.

Широкое применение стандартных узлов и деталей в станкостроении позволяет сократить потребность в запасных частях и продолжительность ремонта в несколько раз.

Цель системы полного технического обслуживания оборудования — обеспечение надежной и эффективной эксплуатации орудий труда до их износа с целью минимизации издержек за все время срока службы. Система нацелена на минимизацию неполадок и дефектов в работе оборудования.

#### **4. Электроремонтные предприятия, их структура.**

Различают централизованный ремонт электрических машин, производимый на специальных ремонтных предприятиях, и децентрализованный — непосредственно на предприятиях, эксплуатирующих электрооборудование. Централизация обеспечивает высокий уровень технологии и организации производства и является основой повышения производительности труда и качества ремонта. Однако централизация не исключает проведения ремонтов на каждом промышленном предприятии.

Специализированные ремонтные предприятия производят, как правило, капитальный ремонт с заменой старой обмотки, с полной разборкой машины, ремонтом или заменой изношенных деталей (щитов, валов, станин, вентиляторов, коллекторов и др.). Ремонт производят в плановом порядке для предупреждения прогрессирующего износа и исключения случайного выхода оборудования из строя. Текущий ремонт является основным профилактическим видом ремонта, обеспечивающим долговечность и безотказность работы машины. При текущем ремонте, осуществляемом в процессе эксплуатации, ее работоспособность поддерживается путем чистки, проверки, смазки, замены быстроизнашивающихся частей (щеток, подшипников и др.) новыми.

Прогрессивным направлением в организации ремонтных предприятий является создание на них обменного фонда. Резервирование электрических машин на складах эксплуатирующего предприятия не всегда целесообразно ввиду большой дефицитности машин и широкой их номенклатуры. Более выгодно этот резерв сосредоточить на ремонтном предприятии в виде обменного фонда. В этом случае нуждающаяся в капитальном ремонте машина может быть заменена аналогичной, что максимально сокращает время простоя технологического оборудования.

Обменный фонд позволяет также лучше организовать работу на ремонтном предприятии, так как склад ремонтного фонда обеспечивает непрерывное поступление машин на производство. Близкие по устройству машины можно запускать в производство определенными партиями, что способствует более полной загрузке оборудования, уменьшает стоимость и повышает качество ремонта.

Производственный процесс ремонта начинается с момента доставки электрических машин в здание электроремонтного предприятия или цеха и осуществляется в следующем порядке: разборка, дефектация и определение объема ремонта; ремонт, изготовление и замена частей и деталей; сборка, испытания и окраска машины.

Современное специализированное предприятие (цех) осуществляет ремонт электрооборудования по поточному принципу. Из склада ремонтного фонда электрические машины поступают в разборочно-дефектационное отделение, где их

разбирают и моют. В этом же отделении производят дефектацию, в процессе которой все части разделяют на три группы: годные, негодные и требующие ремонта.

Сборочные единицы и детали, которые могут быть применены без ремонта, а также требующие ремонта, направляют в комплектовочное отделение.

Комплектовочное отделение является важным звеном электроремонтного цеха. В электроремонтном цехе крупного завода в ремонте одновременно может находиться несколько сотен электрических машин и другое электрооборудование различных типоразмеров. При таком большом количестве разобранного электрооборудования хранение сборочных единиц и деталей, а также четкая и своевременная комплектовка ими ремонтируемого электрооборудования требует выделения специальных служб, которые осуществляют следующие функции: хранение не требующих ремонта деталей и сборочных единиц ремонтируемых машин до передачи их на сборку; выдачу заказов на изготовление деталей для замены забракованных при дефектации; прием и хранение вновь изготовленных и отремонтированных деталей и сборочных единиц; комплектацию ремонтируемых машин деталями и изделиями со склада запасных частей (подшипниками, щетками, катушками обмотки, подшипниковыми щитами и крышками, различными прокладками и т. д.); передачу полного комплекта деталей и сборочных единиц на сборку.

## **1. 8 Лекция № 8 ( 2 часа).**

**Тема: «Технология ремонта силовых трансформаторов и ремонта средств автоматики»**

### **1.8.1 Вопросы лекции:**

- 1.Технология ремонта силовых трансформаторов.
- 2.Схема технологического процесса ремонта трансформаторов.
- 3.Технология ремонта отдельных узлов трансформатора (обмоток, бака, арматуры и др.)
- 4.Ремонт средств автоматики.
- 5.Ремонт датчиков температуры, манометрических приборов и датчиков-реле давления, разряжения, уровня, расхода.

### **1.8.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Технология ремонта силовых трансформаторов.**

Любое ремонтное производство независимо от вида ремонтируемых изделий коренным образом отличается от производства таких же изделий на заводах промышленности. Это отличие носит технический, экономический и, главным образом, технологический характер.

Техническое отличие состоит в том, что технический уровень ремонтного производства значительно ниже, чем промышленного производства новых изделий. Последнее непрерывно совершенствуется с использованием последних достижений в различных областях науки, с применением новых прогрессивных материалов и более производительных способов их обработки. Ремонтное же производство имеет дело подчас с очень устаревшими изделиями несовершенной конструкции.

Экономическое отличие заключается в том, что, например, трансформаторный завод создает новое изделие — трансформатор, применяя в качестве исходных продуктов материалы (трансформаторную сталь, обмоточный провод, металл для баков, арматуры и ярм магнитопровода и др.), а электроремонтное предприятие в качестве сырья использует неисправный трансформатор, в котором многие узлы и детали не надо изготавливать заново.

Таким образом, ремонт создает только прибавочную стоимость в форме изменения качества изделия.

Технологическое отличие. Ремонтное производство гораздо сложнее и многообразнее, чем производство новых изделий в промышленности. Это объясняется тем, что добавляются новые операции, выходящие за пределы технологии изготовления новых изделий, как то: разборка, предварительные испытания, осмотры, отбраковка, определение годности и возможности ремонта отдельных узлов и деталей, определяемые дефектировкой. Другое отличие заключается в том, что ремонтное производство обладает более широкой номенклатурой изделий, чем завод-изготовитель. Наряду с современными ремонтируются устаревшие изделия, снятые с производства. Но, несмотря на все эти отличия, технология ремонта органически связана с технологией изготовления новых изделий.

Требования обеспечить высокое качество выполнения ремонтных работ с заданной производительностью обуславливают эту связь и зависящий от этого технологический процесс в ремонтном производстве. На трансформаторных заводах непрерывно применяют новые конструкционные и электроизоляционные материалы, но за этим неминуемо следует распространение применения этих материалов и для старых трансформаторов при их ремонте. Примером может служить введение съемных днищ расширителей у новых трансформаторов. При ремонте реконструируются по такому же принципу и старые расширители, не имеющие съемных днищ.

## **2. Схема технологического процесса ремонта трансформаторов.**

Принципиально схема технологического процесса ремонта трансформаторов отличается от аналогичной схемы ремонта электрических машин только наличием масляного хозяйства. Слив масла при разборке трансформатора, его испытание и химический анализ, при необходимости сушка его и регенерация дополняют процесс ремонта. Однако наличие масляного хозяйства повышает пожарную опасность и взрывоопасность ремонтного производства и требует усиленного внимания к вопросам техники безопасности.

Погрузка трансформаторов на автомобили должна быть механизирована и вестись строго с соблюдением правил безопасности. Применяемые при этом механизмы, приспособления и инструменты должны быть исправны, проверены и соответствовать рабочей нагрузке.

При перемещении трансформатора по наклонному настилу применяют листовую или иного сечения сталь. Угол наклона трансформатора при погрузке не должен превышать  $15^\circ$ , тросы крепят за его верхнюю часть, чтобы избежать его опрокидывания. С обратной стороны трансформатора применяют оттяжку.

При подъеме и спуске трансформатора стропы подъемных механизмов крепят за скобы (рымы), приваренные к стенке бака. Нельзя поднимать трансформатор в сборе за кольца выемной (активной) части. При транспортировке на автомобилях трансформатор нужно крепить в кузове при помощи растяжек и деревянных клиньев. Наклон трансформатора при перевозке должен быть не более  $15^\circ$ . Выемную часть трансформатора поднимают только в том случае, если температура активной его части не более чем на  $5^\circ$  ниже температуры помещения, иначе влага, содержащаяся в теплом воздухе помещения, соприкасаясь с холодным сердечником трансформатора, будет конденсироваться на его поверхности. Это может сильно увлажнить сердечник, потребуются его сушить. Обычно трансформаторы мощностью до 1000 кВ-А достаточно выдержать в помещении до разборки в течение суток. Во избежание возможного увлажнения нежелательно надолго оставлять активную часть трансформатора (вне ремонта) на открытом воздухе помещения. При относительной влажности воздуха 50...60% длительность такого простоя не должна превышать 12...8 ч.

Каждому трансформатору присваивают ремонтный номер, на картонной бирке отмечают этот номер, тип трансформатора и необходимые данные.

### **3. Технология ремонта отдельных узлов трансформатора (обмоток, бака, арматуры и др.)**

По объему ремонтных работ различают: текущий (эксплуатационный) ремонт, капитальный ремонт без замены обмоток, капитальный ремонт с заменой обмоток, но без ремонта магнитной системы, капитальный ремонт с заменой обмоток и частичным или полным ремонтом магнитной системы.

Ремонт по типовой номенклатуре называется *ревизией*. При ревизии активную часть трансформатора вынимают из бака (или поднимают съемную часть бака) и без разборки активной части (расшихтовка магнитопровода и съем обмоток) производят ее осмотр (ревизию). Кроме того, выполняют целый ряд других обязательных работ, в которые входят: обработка масла, замена сорбентов, уплотнений, а в некоторых случаях — сушка активной части и контрольные испытания.

По назначению ремонт может быть планово-предупредительный (профилактический) и послеаварийный, как и при ремонте электрических машин. Периодичность их проведения зависит от результатов профилактических испытаний и наличия дефектов, выявленных в процессе эксплуатации и при внешнем осмотре трансформатора. Кроме того, в установленные сроки предусматривается вскрытие главных трансформаторов электростанций и подстанций, через которые передается основная часть вырабатываемой электроэнергии, и трансформаторов собственных нужд подстанции. Вскрытие производят через восемь лет после включения трансформаторов в эксплуатацию. Трансформаторы вскрывают и осматривают также после длительного транспортирования к месту установки. Планово-предупредительный капитальный ремонт выполняют за сравнительно непродолжительное время.

Сроки выполнения послеаварийного ремонта определяются следующими обстоятельствами: возможностью замены трансформатора, наличием резерва, категорией потребителей, которых трансформатор снабжает электроэнергией и т. п. Капитальный ремонт с заменой обмоток и изоляции, переизолировкой электротехнической стали требует значительных материальных, трудовых затрат и времени.

По характеру выполняемых работ, как и в случае электрических машин, выделяют: восстановительный ремонт, реконструкцию и модернизацию трансформаторов. При восстановительном ремонте параметры трансформатора и конструкция узлов и деталей не изменяются. При реконструкции параметры трансформатора сохраняются, а конструкция ряда узлов изменяется. В процессе модернизации изменяют параметры трансформатора и, как правило, отдельные части конструкции.

*Текущий ремонт* предназначен для проверки состояния ограниченного числа быстроизнашивающихся и относительно несложных в ремонте узлов и деталей с устранением обнаруженных дефектов, чтобы обеспечить безотказную работу трансформатора до следующего планового (текущего или капитального) ремонта. При текущем ремонте производятся осмотр и чистка узлов и деталей (как правило, относительно легкодоступных), в том числе загрязненной внешней изоляции, ликвидация небольших дефектов, замена неосновных узлов и деталей, а также измерения, испытания и осмотры в целях выявления и уточнения работ, подлежащих выполнению в ходе капитального ремонта. Текущий ремонт также включает комплекс работ по уходу за трансформаторным маслом.

### **4. Ремонт средств автоматики.**

Наиболее уязвимой и часто повреждающейся частью трансформатора являются его обмотки ВН и реже НН. Повреждения чаще всего возникают вследствие снижения электрической прочности изоляции на каком-либо участке обмотки.

В трансформаторах могут повреждаться также вводы, переключатели, крышка и другие детали. Примерное соотношение (%) повреждений отдельных частей трансформатора следующее:

- обмотки и токопроводящие части - 53%;
- вводы-18%;
- переключатели -12%;
- все остальные части, взятые вместе, -17%. Исследования причин аварийных выходов трансформаторов

из строя показали, что обычно аварии происходят из-за неудовлетворительного обслуживания и низкого качества ремонта.

Трансформатор с поврежденными обмотками или другими его частями подлежит немедленному выводу из работы и ремонту. На предприятии составляется приемо-сдаточный акт с приложением ведомости дефектов и оформляется заказ. В документах записывают номер заказа, паспортные данные, требования заказчика, результаты внешнего осмотра, проверочных испытаний и измерений. Все дефекты, обнаруженные в дальнейшем процессе разборки трансформатора, также заносят в ведомость дефектов. По этим данным определяют объем ремонтных работ.

## **5. Ремонт датчиков температуры, манометрических приборов и датчиков-реле давления, разряжения, уровня, расхода.**

Комплекс работ по выявлению характера и степени повреждения отдельных частей трансформатора называют диагностикой. Работа по диагностике - наиболее ответственный этап ремонта, поскольку определяются действительный характер и размеры повреждений, а также объем предстоящего ремонта и потребность в ремонтных материалах и оснастке. Поэтому производящий диагностику должен хорошо знать не только признаки и причины неисправности, но и способы их безошибочного выявления и устранения.

Переизоляция обмоточного провода. Обмотку, поступившую в ремонт, осматривают для уточнения масштабов повреждения, а также определения способа ремонта и необходимых для этого материалов и оборудования. Выясняют возможность повторного использования обмоточного провода и изоляционных деталей поврежденной обмотки. Поскольку в электроустановках имеются современные устройства релейной защиты и автоматики, полное разрушение обмоток происходит очень редко, так как трансформатор, как правило, отключается защитой на стадии возникновения повреждения, когда из-за электрического пробоя оказывается поврежденной только изоляция витков обмоточного провода, а не сам провод.

Снятый с обмотки провод после восстановления его изоляции переизоляцией можно использовать повторно и при поступлении в ремонт обмоток с признаками сильного износа (старения) их изоляции вследствие продолжительной работы в условиях частых и длительных перегревов. При правильном выполнении операции переизоляции старый обмоточный провод по своим качествам будет равноценен новому.

Магнитопроводы, поступающие в ремонт, нуждаются преимущественно в частичном ремонте, реже - в ремонте с полной разборкой и перешихтовкой активной стали.

При частичном ремонте магнитопровода не требуется его полная разборка. Частичный ремонт выполняют при незначительных повреждениях активной стали или отдельных деталей магнитопровода, например, при местных замыканиях и небольших оплавлениях листов активной стали, повреждениях изоляционных деталей, ослаблении крепления ярмовых балок, забоинах и т.д.

Очаги прогара и оплавления активной стали расчищают, снимая образовавшиеся наплывы металла. После этого частично распрессовывают пластины магнитопровода на этом участке, отделяют сварившиеся кромками пластины друг от друга, снимают заусеницы с кромок пластин и, очистив участок от остатков старой изоляции и металлических опилок, изолируют пластины, прокладывая между ними листы телефонной или кабельной бумаги.

При наличии забоин в стержнях активной стали магнитопровода пластины такого стержня распрессовывают (ослабляют прессовку стержня, отворачивая на несколько

оборотов гайку прессующей шпильки), а затем с помощью деревянных клиньев разводят пластины и после выпрямления плоскогубцами загнутых кромок пластин прокладывают между ними листы изоляции из кабельной или телефонной бумаги и с помощью прессующей шпильки вновь спрессовывают стержень.

Ремонт вводов. К основным неисправностям вводов можно отнести: трещины и сколы изоляторов, разрушение изоляторов, некачественную армировку и уплотнение, срыв резьбы стержня при неправильном навинчивании и затягивании гайки. При значительных сколах и трещинах ввод заменяется. Могут встретиться в старых, но еще пригодных для работы типах трансформаторов несъемные вводы, которые целесообразно выполнить съемными, для чего делают переходной фланец, который приваривают к крышке маслоуплотненным швом.

## **1. 9 Лекция №9 ( 2 часа).**

**Тема: «Электротехническая служба сельскохозяйственных предприятий»**

### **1.9.1 Вопросы лекции:**

1. Организация электротехнической службы.
2. Анализ деятельности и задачи проектирования электротехнической службы.
3. Расчет объема работ и определение штатной численности исполнителей

### **1.9.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Организация электротехнической службы.**

Электротехническая служба сельхозпредприятия выполняет техническое обслуживание существующих, монтаж и наладку вновь вводимых в эксплуатацию электроустановок.

Основным в работе электротехнической службы совхоза или колхоза являются безотказная работа электроустановок и электрифицированного оборудования и надежное электроснабжение всех объектов и токоприемников хозяйства. Это должно решаться электротехническим персоналом в условиях четкой деловой взаимосвязи с предприятием электрических сетей и органами Главгосэнергонадзора. На основе имеющегося опыта и действующих организационных положений рекомендуется следующая примерная структура электротехнической службы сельхозпредприятия.

Службу возглавляет главный (старший) инженер-электрик, в подчинении которого находятся эксплуатационная, ремонтная и монтажная группы, руководимые соответственно инженером (техником) и техниками (старшим электромонтером). Главный (старший) инженер-электрик в административном отношении подчиняется директору совхоза или правлению колхоза, а по техническим вопросам — главному (старшему) инженеру-электрику районного агропромышленного объединения.

#### **2. Анализ деятельности и задачи проектирования электротехнической службы.**

Группы эксплуатации и ремонта обеспечивают проведение плановых осмотров, технического ухода, текущего и капитального ремонтов с целью поддержания электроустановок и электрифицированного оборудования в надлежащем техническом состоянии. Группу эксплуатации укомплектовывают электромонтерами, обслуживающими электрохозяйство в бригадах, на фермах и в отделениях совхоза или колхоза, а также аварийной группой, состоящей из дежурных электромонтеров,



осуществляющих оперативное обслуживание электроустановок и устранение аварийных повреждений в электроустановках совхоза или колхоза. Группу ремонта укомплектовывают электрослесарями-ремонтниками, осуществляющими ремонтные работы в электроустановках хозяйства. Электромонтажная служба обеспечивает выполнение работ по механизации трудоемких процессов, заключающихся в монтаже и наладке новых электрифицированных установок. В задачи службы входят также проведение электрических измерений, оформление соответствующей документации и сдача смонтированной и отлаженной электроустановки в эксплуатацию.

### **3. Расчет объема работ и определение штатной численности исполнителей.**

Для учета находящегося в эксплуатации оборудования, организации и учета выполняемых работ в электротехнической службе должна храниться следующая техническая документация: схема электроснабжения всех объектов хозяйства и журнал учета источников электроснабжения и линий электропередачи, состоящих на балансе хозяйства; журналы учета электрооборудования, внутренних осветительных и силовых проводов, протоколы испытаний изоляции электрооборудования и измерения сопротивлений заземляющих устройств; журнал учета отключений и перерывов в подаче электроэнергии; акты расследования причин выхода из строя электрооборудования; акты ввода электроустановок в эксплуатацию; журнал телефонограмм и журнал учета вызовов электромонтеров на устранение повреждений.

Кроме того, должны регулярно заполняться журналы проверки контуров заземлений, учета и проверки защитных средств, журналы инструктажа по технике безопасности и учета технической учебы.

Перечисленные выше особенности схем электроснабжения производственных и коммунально-бытовых объектов в сельской местности определяют то, что в большинстве случаев значительная часть времени перерыва электроснабжения затрачивается на отыскание места повреждения. Поэтому хорошо налаженное сотрудничество энергетиков сельхозпредприятий с оперативно-диспетчерской службой ПЭС или оперативно-диспетчерской группой (ОДГ) РЭС является важным фактором, позволяющим ускорить отыскание мест повреждения, устранить неисправность и неполадки в электроснабжении, повысить безопасность производства работ. Опыт показал, что сообщения о повреждениях непосредственно от населения не дают полной информации о месте и характере повреждения, вместе с тем значительное число повреждений приходится на вводы в жилые дома населенных пунктов. Для предотвращения неправильных сообщений о перерывах электроснабжения в Латвии, например, принят порядок, при котором сообщения о всех неполадках поступают в РЭС от персонала электротехнической службы хозяйства [2]. При получении сообщения о перерыве электроснабжения от потребителей своего хозяйства электрики сельскохозяйственного предприятия немедленно определяют характер повреждения. Повреждения в сети 0,38 кВ, если для их устранения по правилам техники безопасности не требуется подготовка рабочих мест, устраняются персоналом хозяйства самостоятельно, о чем сообщается ОДГ района электрических сетей. Если для устранения повреждения необходимо готовить рабочее место или имеет место повреждение на стороне 6—20 кВ, электротехнический персонал сельхозпредприятия немедленно сообщает об этом оперативному персоналу РЭС и в дальнейшем действует по указаниям оперативного персонала. Электрики хозяйства могут включать и отключать разъединители на переключательных пунктах и трансформаторных подстанциях (ТП) потребителей. Для этого электромонтеры сельхозпредприятия проходят целевое обучение, сдают экзамен и получают допуск

к работе на электроустановках района электрических сетей, им выдаются ключи от ТП и приводов коммутационных аппаратов переключательных пунктов. Получение ключей оформляется в соответствующем журнале. Сельхозпредприятие и район электрических

сетей обмениваются списками лиц, имеющих право вести оперативные переговоры. Списки утверждаются руководителями сельхозпредприятия и района электросетей соответственно. В списках указывается квалификационная группа по технике безопасности и номера телефонов, по которым можно вызвать необходимых в данном случае лиц. Работникам РЭС, включенным в список, предоставляется право вести оперативные переговоры от имени ПЭС и давать указания электротехническому персоналу сельхозпредприятия на выполнение работ в электроустановках ПЭС. Материалы, необходимые для ликвидации повреждений в электроустановках, принадлежащих ПЭС, передаются сельхозпредприятиям в необходимых количествах (например, предохранители на все номинальные токи, используемые в данной установке). Расход материалов учитывается согласно сообщениям с мест или при возврате перегоревших предохранителей.

## **1. 10 Лекция №10 ( 2 часа).**

**Тема: «Релейная защита трансформаторов, генераторов малой мощности, электродвигателей»**

### **1.10.1 Вопросы лекции:**

1. Релейная защита электрических сетей напряжением до 1 кВ.
2. Трехфазное автоматическое повторное включение линий с односторонним питанием (АПВ).
3. Автоматическое включение резервного питания (АВР).
4. Устройства для определения мест повреждения в электрических сетях.
5. Автоматизация электростанций.
6. Регулирование возбуждения генераторов.
7. Автоматическая форсировка возбуждения (АФВ), автоматическое гашение поля (АГП) и синхронизация генераторов.

### **1.10.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1.Релейная защита электрических сетей напряжением до 1 кВ.**

Расчеты токов КЗ производятся для выбора типов и параметров срабатывания (уставок) релейной защиты трансформатора напряжением 110/10 кВ, а также защит других элементов электрических сетей. В общем случае для выполнения защиты нужно знать фазные соотношения токов также, а при несимметричных КЗ за трансформатором - не только максимальные, но и возможные минимальные значения токов КЗ.

Для упрощения практических расчетов токов КЗ в распределительных электрических сетях напряжением выше 1 кВ принято не учитывать ряд факторов, которые в действительности могут существовать, но не могут оказать определяющего влияния на значения токов КЗ и их фазные соотношения. Как правило, не учитывается переходное сопротивление в месте КЗ и все повреждения рассматриваются как металлические КЗ двух или трех фаз или КЗ одной фазы на землю. Сопротивления всех трех фаз трансформаторов, линий, реакторов и других элементов сети считаются одинаковыми. Не учитываются токи намагничивания силовых трансформаторов и токи нагрузки. Как правило, не учитывается подпитка места КЗ токами асинхронных двигателей.

Принимая во внимание, что распределительные сети электрически удалены от источников питания и аварийные процессы в этих сетях мало сказываются на работе генераторов энергосистемы, считается, что при любых КЗ в распределительной сети напряжение

питающей системы на стороне высшего напряжения (35-110-220 кВ) трансформатора остается неизменным.

Вместе с тем в этих расчетах имеется ряд особенностей:

- изменение мощности короткого замыкания энергосистемы, т.е. расчет максимального и минимального токов КЗ;
- необходимость учета существенного изменения сопротивления некоторых типов трансформаторов с РПН при изменении положения регулятора РПН.

При практических расчетах токов КЗ для релейной защиты вычисляется только периодическая составляющая тока, а влияние апериодической составляющей тока КЗ учитывается при необходимости путем введения повышающих коэффициентов при расчетах релейной защиты.

Как правило, рассчитывается только трехфазное КЗ, а значения токов при других видах КЗ определяются с помощью известных соотношений.

В основе всех расчетов лежит ГОСТ 27517-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.

## **2.Трехфазное автоматическое повторное включение линий с односторонним питанием (АПВ).**

Назначение устройств автоматического повторного включения (АПВ). Опыт показывает, что значительная часть отключений оборудования релейной защитой вызывается нарушениями изоляции высокого напряжения, которые самоустраняются при снятии напряжения. Повреждения такого рода называют неустойчивыми. На воздушных линиях, например, они возникают при перекрытии изоляции во время грозы, схлестывании проводов при сильном ветре, набросах и по другим причинам. После кратковременного отключения линии изоляция ее обычно восстанавливается и при повторном включении линии действием АПВ она остается в работе. Статистическими данными подтверждается успешность АПВ воздушных линий в 70% случаев при первом включении и до 15% при втором. Третье повторное включение, как правило, не имеет смысла, так как его успешность 1-2%.

При устойчивом повреждении на линии ее повторное включение не может быть успешным, и при подаче напряжения линия вновь отключается защитой.

Автоматическое повторное включение линий. Пуск в действие АПВ линий осуществляется различными способами. Один из них пуск релейной защитой при отключении выключателя поврежденной цепи. Недостаток этого способа заключается в том, что повторное включение происходит только в случае действия релейной защиты, в связи, с чем он применяется не часто. От указанного недостатка свободен другой способ пуска, при котором АПВ приходит в действие каждый раз, когда возникает несоответствие положений выключателя и его ключа управления. В этом случае АПВ обеспечивается при любом отключении выключателя, в том числе и ручном отключении с места установки, кроме дистанционного отключения с помощью ключа управления. Запрещение повторного автоматического включения после отключения выключателя ключом управления, а также в случае отключения выключателя релейной защитой сразу же после включения его на устойчивое КЗ является важнейшей оперативной особенностью всех схем АПВ.

Получили распространение два вида АПВ линии: трехфазное (ТАПВ), подающее импульс на включение трех фаз выключателя, однофазное (ОАПВ), осуществляющее включение лишь одной фазы выключателя, отключенной релейной защитой при однофазном КЗ. Кроме того, на линиях с двухсторонним питанием схемы АПВ дополняются специальными органами контроля напряжения и синхронизма, а также применяются сочетания различных видов АПВ.

### 3. Автоматическое включение резервного питания (АВР).

Автоматическое включение резерва (АВР) предназначено для переключения потребителей с поврежденного источника питания на исправный, резервный. В системах сельского электроснабжения устройства АВР применяют на двухтрансформаторных подстанциях 35 - 110/10 кВ (местные АВР) и на линиях 10 кВ с двусторонним питанием, работающих в разомкнутом режиме (сетевые АВР).

В связи с появлением потребителей первой категории по надежности электроснабжения (животноводческие комплексы) начинают внедрять устройства АВР на ТП-10/0,38 кВ, на линиях 0,38 кВ и на резервных дизельных электростанциях.

К схемам АВР предъявляются следующие основные требования:

- АВР должно обеспечиваться при непредусмотренном прекращении электроснабжения по любой причине и при наличии напряжения на резервном источнике питания;
- АВР должно осуществляться с минимально возможным временем действия;
- АВР должно быть однократным;
- АВР должно обеспечивать быстрое отключение резервного источника при включении на устойчивое к.з., для этого рекомендуется выполнять ускорение защиты после АВР (аналогично тому, как это делается после АПВ);
- в схеме АВР должен быть предусмотрен контроль исправности цепи включения резервного оборудования.

Для пуска АВР при исчезновении напряжения основного источника используется реле минимального напряжения. В некоторых случаях роль пускового органа выполняет реле времени с возвращающимся якорем (в нормальном режиме реле времени находится постоянно под напряжением и якорь притянут).

Уставка срабатывания этих реле обычно, если не имеется конкретных данных, выбирается из условия

$$U_{\text{ср}} = (0,25 \dots 0,4) \cdot U_{\text{ном}}$$

Время срабатывания пускового органа устройства АВР ( $t_{\text{ср.АВР}}$ ) выбирается по следующим условиям:

- по отстройке от времени срабатывания тех защит, в зоне действия которых повреждения могут вызвать уменьшение напряжения ниже принятого по условию

$$t_{\text{ср.АВР}} \geq t_{\text{с.з}} + \Delta t$$

где  $t_{\text{с.з}}$  — наибольшее время срабатывания указанных защит;

$\Delta t$  — ступень селективности, принимаемая равной 0,6 с при использовании реле времени со шкалой до 9 с и равной 1,5...2 с со шкалой до 20 с;

- по согласованию действия АВР с другими устройствами автоматики (например, АПВ линии, по которой осуществляется подача энергии от основного источника питания)

$$t_{\text{ср.АВР}} \geq t_{\text{с.з.л}} + t_{1\text{АПВ}} + t_{\text{зап}}$$

где  $t_{\text{с.з.л}}$  — наибольшее время действия защиты линии (элемента системы электроснабжения), передающей энергию потребителям, для которых осуществляется АВР;

$t_{1\text{АПВ}}$  — время цикла неуспешного АПВ этой линии;

$t_{\text{зап}}$  — запас по времени, принимаемый равным 2 - 3,5 с.

### 4. Устройства для определения мест повреждения в электрических сетях.

В электрических сетях широкое распространение получили устройства для определения мест повреждения, в первую очередь на воздушных электрических линиях напряжением 10 кВ и выше, основанные на измерении параметров аварийного режима. Эти устройства можно разделить на две основные группы, предназначенные для определения мест повреждений при коротких замыканиях и при замыканиях на землю.

Определение мест повреждения при коротких замыканиях

Определение места короткого замыкания на линиях особенно важно, так как отключение линии при устойчивых повреждениях связано с недоотпуском электроэнергии и материальным ущербом, наносимым потребителям. В этих случаях ускорение поиска повреждений дает большой экономический эффект.

Устройства для ускорения поиска и определения мест коротких замыканий по принципу действия можно разделить на две подгруппы:

- 1) фиксирующие приборы для определения расстояния до места повреждения, автоматически измеряющие и фиксирующие соответствующие электрические величины во время аварийного режима;
- 2) устройства для определения поврежденных участков линий (сетевые датчики, указатели коротких замыканий, автоматически контролирующие и фиксирующие изменения электрических величин во время аварийного режима).

Разработаны различные типы фиксирующих приборов, ряд из которых успешно эксплуатируется. В сельских распределительных сетях напряжением 10 кВ нашли применение приборы типа ФИП (ФИП-1, ФИП-2, ФИП-Ф), ЛИФП и др. Широко используется также устройство типа ФМК-10.

Учитывая, что фиксирующие приборы обеспечивают автоматическое измерение и фиксацию электрических величин во время короткого замыкания, они должны удовлетворять определенным требованиям, в частности следующим: измерение необходимо закончить до начала отключения поврежденных участков линии от релейной защиты, т. е. в течение порядка 0,1 с, прибор должен сохранять значение зафиксированной электрической величины в течение времени, достаточного для прибытия на подстанцию (без постоянного дежурства) оперативной выездной бригады, т. е. не менее 4 ч, должен предусматриваться автоматический селективный запуск приборов, чтобы контролируемая величина была зафиксирована только при аварийных отключениях линий, прибор должен обеспечивать определенную точность измерения (обычно относительная погрешность измерения не должна превышать 5 %) и т. д.

Один из простейших вариантов фиксирующих приборов — устройство, замеряющее (фиксирующее) ток короткого замыкания. При этом для определения расстояния до места короткого замыкания можно решить задачу, обратную той, которую рассматривают при расчете тока короткого замыкания, а именно по известным величинам тока короткого замыкания и напряжения определить сопротивление до точки короткого замыкания. Зная это сопротивление, несложно по известным параметрам сети найти расстояние до точки короткого замыкания.

### **5. Автоматизация электростанций.**

В последнее время вопросы гарантированного электроснабжения индивидуальных жилых домов приобретают все большее значение. Решение купить бензиновый или дизельный генератор является самым распространенным и обоснованным. Это оборудование позволяет обеспечить бесперебойное энергоснабжение, не зависящее от перебоев в работе централизованных сетей, что гарантирует нормальное функционирование всех бытовых электроприборов и систем жизнеобеспечения жилища. Дом, в современном его понимании, это не только архитектурная композиция, но и целый комплекс сложных инженерных систем. Обесточивание этих систем даже на непродолжительное время приводит к сбою (а часто и к отказу) в работе всего комплекса.

Не секрет, что основной причиной всех аварий, выводящих оборудование из строя, являются кратковременные перебои в электроснабжении. Решить эту проблему поможет использование специальных систем автоматизации, которые запускают генераторную установку и подают питание к потребителям в самый короткий срок.

**При автоматизации электростанции осуществляется монтаж:**

- Генераторной установки необходимой мощности;
- ИБП или блока аккумуляторов;

- Модуль автоматики;
- Реверсивного контактора, переключающего цепи питания;
- Блока автоматики (системы АВР), подающего сигнал при перебоях в сети и переводящего систему в режим соответствующего питания.

Автоматизированным электростанциям не требуется дополнительного участия обслуживающего персонала. Включение режима подачи энергии выполняет само оборудование. При этом система автоматически срабатывает в момент отключения электричества на электростанции либо при его падении до критической отметки в основной цепи. При восстановлении энергоснабжения оборудование реагирует немедленно – останавливает генерирующую установку и отключает питание от генератора.

## **6.Регулирование возбуждения генераторов.**

Основным назначением автоматического регулирования возбуждения (АРВ) является повышение устойчивости параллельной работы генераторов при нарушениях нормального режима. В этих условиях АРВ, реагируя на сравнительно небольшие отклонения напряжения (или тока) генератора от нормального значения, значительно увеличивают (форсируют) возбуждение генераторов. При увеличении (особенно форсировке) возбуждения до потолочного значения, увеличивается ЭДС генератора, что способствует повышению предела устойчивости генератора.

Форсировка возбуждения генераторов облегчает и ускоряет процесс восстановления напряжения на шинах после отключения КЗ, что способствует также быстрому самозапуску электродвигателей.

В нормальных условиях АРВ обеспечивают поддержание заданного уровня напряжения и необходимое распределение реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами.

Все автоматические регуляторы возбуждения (АРВ), применяемые на синхронных генераторах, различаются по параметру, на который они реагируют, по способу воздействия на систему возбуждения генератора и подразделяются на три основные группы.

К первой группе относятся электромеханические АРВ. Эти АРВ реагируют на отклонение напряжения генератора от заданного значения (уставки) и воздействуют на изменение сопротивления в цепи обмотки возбуждения возбудителя. К таким АРВ относятся ранее широко применявшиеся регуляторы напряжения реостатного и вибрационного типов.

Ко второй группе относятся электрические АРВ. Эти АРВ реагируют на отклонение напряжения или тока генератора от заданного значения и подают дополнительный выпрямленный ток в обмотку возбуждения возбудителя от внешних источников питания (трансформаторов тока, напряжения или собственных нужд).

К третьей группе относятся также АРВ, применяемые в основном с выпрямительными системами возбуждения: высокочастотной, тиристорной, бесщёточной. В отличие от АРВ первой и второй группы, эти АРВ не имеют собственных силовых органов (внешних источников питания), а только управляют работой возбудителей.

## **7.Автоматическая форсировка возбуждения (АФВ), автоматическое гашение поля (АГП) и синхронизация генераторов.**

Гашением поля называется процесс, заключающийся в быстром уменьшении магнитного потока возбуждения генератора до величины, близкой к нулю. При этом соответственно уменьшается ЭДС генератора.

Гашение магнитного поля приобретает особое значение при аварийных режимах, вызванных повреждениями внутри самого генератора или на его выводах.

Короткие замыкания внутри генератора обычно происходят через электрическую дугу - именно это обстоятельство обуславливает значительное повреждение обмоток статора и активной стали. Это тем более вероятно, что ток  $I_k$  при внутреннем повреждении может быть больше тока при коротком замыкании на выводах генератора. В таком случае быстрое гашение поля генератора необходимо, чтобы ограничить размеры аварии и предотвратить выгорание обмотки и стали статора.

Таким образом, при внутренних коротких замыканиях в генераторах необходимо не только отключить их от внешней сети, но и быстро погасить магнитное поле возбуждения, что приведет к уменьшению ЭДС генератора и погасанию дуги.

Для гашения поля необходимо отключить обмотку ротора генератора от возбуждателя. Однако при этом вследствие большой индуктивности обмотки ротора на ее зажимах могут возникнуть большие перенапряжения, способные вызвать пробой изоляции. Поэтому гашение поля нужно выполнять таким образом, чтобы одновременно с отключением возбуждателя происходило быстрое поглощение энергии магнитного поля обмотки ротора генератора, так чтобы перенапряжения на ее зажимах не превышали допустимого значения.

В настоящее время в зависимости от мощности генератора и особенностей его системы возбуждения используются три способа гашения магнитного поля:

- замыкание обмотки ротора на гасительное (активное) сопротивление;
- включение в цепь обмотки ротора дугогасительной решетки быстродействующего автомата;
- противовключение возбуждателя.

## **1. 11 Лекция №11 ( 2 часа).**

**Тема: «Схемы первичной коммутации подстанций 110-35/10 кВ»**

### **1.11.1 Вопросы лекции:**

1. Конструкции распределительных устройств.
2. Потребительские трансформаторные подстанции 35-10/0,4 кВ: схемы соединений, конструкции, типы, применяемая аппаратура
3. Выбор мощности трансформаторов подстанции.
4. Определение места расположения трансформаторной подстанции.

### **1.11.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1.Конструкции распределительных устройств.**

Релейной защитой называют специальные средства и устройства для защиты, выполняемые с помощью реле, процессоров, блоков и других. аппаратов, и предназначенные для отключения силовых выключателей при напряжении свыше 1000 В или автоматических выключателей при напряжении до 1000 В. Более часто термин РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА используется в установках и сетях высокого напряжения. К системам автоматики в настоящей работе отнесены устройства АПВ, АВР, АЧР, АРТ.

Р.З. – основное средство защиты линий, трансформаторов, генераторов, двигателей от аварийных и ненормальных режимов.

##### **1.1 Требования, предъявляемые к релейной защите**

К релейной защите предъявляются следующие требования:

-селективность (избирательность), т.е. способность защиты самостоятельно определять поврежденный участок сети и отключать только этот участок;

- быстродействие;
- надежность действия;
- чувствительность (т.е. способность отключать поврежденные участки на начальной стадии повреждения);
- простота схемы.

Устройства РЗ могут контролировать следующие параметры: ток, напряжение, мощность, температуру, время, направление и скорость изменения контролируемой величины.

#### 1.2 Функции релейной защиты

Устройства РЗ могут выполнять следующие функции:

- защита от К.З междуфазных,
- защита от замыканий на землю, в т. ч. 2х-3х и однофазных
- защита от минимального напряжения;
- защита от внутренних повреждений в обмотках двигателей, генераторов и трансформаторов.
- защита от асинхронного режима работы синхронных двигателей.
- защита от обрывов в роторной цепи мощных двигателей.
- защита от затянувшегося пуска
- дифференциальная защита (продольная и поперечная) крупных машин и линий.

#### 1.3 Оперативный ток

Оперативный ток предназначен для питания цепей управления, защиты, сигнализации и т.п. Оперативным током питаются приводы всех коммутационных аппаратов подстанций. Оперативный ток может быть переменным и постоянным, величина напряжения обычно составляет 110-220 В. Оперативный ток на ответственных подстанциях и установках должен быть всегда, даже при потере питания главных цепей, поэтому оперативный ток должен иметь независимые источники питания, в качестве которых могут использоваться: аккумуляторные установки, выпрямители, генераторы, специальные блоки питания.

#### 1.4 Элементная база РЗ

В качестве основных элементов релейной защиты применяются реле, в том числе электромагнитного или других принципов действия, а также полупроводниковые и микроэлектронные приборы и блоки.

Основные реле. В схемах РЗиА применяется много типов различных реле, а в последние годы - специальных блоков и процессоров, объединяемых в локальную компьютерную сеть. В качестве основных применяются реле тока, напряжения, мощности, частоты, дифференциальные реле и блоки дифференциальной защиты.

## **2. Потребительские трансформаторные подстанции 35-10/0,4 кВ: схемы соединений, конструкции, типы, применяемая аппаратура.**

Трансформаторные подстанции 6...10/0,38 кВ, которые часто называют потребительскими, предназначены для питания распределительных линий напряжением 0,38 кВ, в большинстве случаев трехфазных четырехпроводных с заземленной нейтралью.

В распределительных сетях используются как однотрансформаторные, так и двухтрансформаторные подстанции мощностью от 25 до 630 кВ-А в большинстве случаев наружной установки. При специальном обосновании могут устанавливаться закрытые трансформаторные подстанции (ЗТП). В настоящее время в большинстве случаев проектируются сети с комплектными трансформаторными подстанциями наружной установки, хотя для потребителей первой категории по надежности электроснабжения все более широко используются ЗТП. В эксплуатации находятся также мачтовые трансформаторные подстанции наружной установки.



Основные схемы первичных соединений распределительного устройства 10 кВ комплектной трансформаторной подстанции (КТП) приведены на рисунке 1 (в некоторых схемах не показаны дополнительные разъединители, которые могут устанавливаться на концевых опорах для присоединения КТП к линиям). Комплектная трансформаторная подстанция тупикового типа с одним трансформатором (рис. 1, а) широко применяется для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

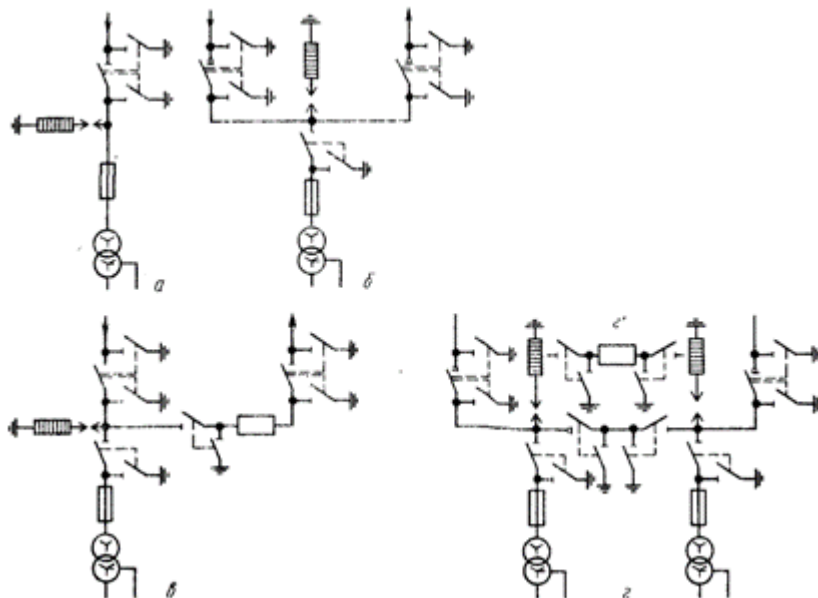


Рисунок 1. Главные схемы соединений распределительного устройства РУ 10 кВ трансформаторных подстанций 10/0,38 кВ

### 3.Выбор мощности трансформаторов подстанции.

Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях промышленных предприятий является одним из важных вопросов электроснабжения и построения рациональных сетей. В нормальных условиях трансформаторы должны обеспечивать питание всех потребителей предприятия при их номинальной нагрузке.

Число трансформаторов на подстанции определяется требованием надёжности электроснабжения. С таким подходом наилучшим является вариант с установкой двух трансформаторов, обеспечивающий бесперебойное электроснабжение потребителей цеха любых категорий. Однако если в цехе установлены приёмники только II и III категории, то более экономичными, обычно, являются однитрансформаторные подстанции.

При проектировании внутризаводских сетей установка однитрансформаторных подстанций выполняется в том случае, когда обеспечивается резервирование потребителей по сети низкого напряжения, а также когда возможна замена повреждённого трансформатора в течение нормируемого времени.

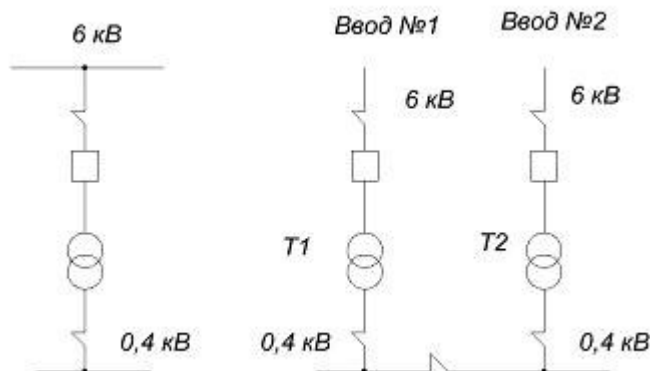


Рис. 1 Схемы электроснабжения цеха с одним (а), и двумя (б) трансформаторами

Двухтрансформаторные подстанции применяются при значительном числе потребителей II категории, либо при наличии потребителей I категории. Кроме того, двухтрансформаторные подстанции целесообразны при неравномерном суточном и годовом графике нагрузки предприятия, при сезонном режиме работы при значительной разнице нагрузки в сменах. Тогда при снижении нагрузки один из трансформаторов отключается.

#### **4.Определение места расположения трансформаторной подстанции.**

Выбор типа, мощности и местоположения подстанции зависит от величины и характера электрических нагрузок и дислокации их в цехе или на генеральном плане предприятия. При этом должны приниматься во внимание архитектурно-строительные, производственные и эксплуатационные требования, а также условия окружающей среды.

ГПП размещают по возможности ближе (в пределах разрывов, допускаемых ПУЭ) к центрам электрических нагрузок с учетом планировки предприятия и возможности прохождения воздушных линий 35 - 110 кВ. Цеховые ТП размещают с максимальным приближением к центру питаемых ими групп потребителей электроэнергии с некоторым смещением в сторону источника питания.

При напряжении питания 6-10 кВ местоположение трансформаторов определяется в зависимости от величины, характеристики и расположения нагрузок напряжением до 1 кВ с учетом установки конденсаторов, а также возможности размещения трансформаторной подстанции (ТП) в намеченном месте.

Рекомендуется применение комплектных трансформаторных подстанций (КТП), обеспечивающих не зависящий от строительной части индустриальный монтаж, приближение КТП по возможности к центру нагрузки, что обеспечивает максимальную экономию цветного металла и снижение потерь электроэнергии в цеховых сетях.

Место расположения КТП должны учитывать условия окружающей среды, необходимую степень бесперебойности и динамику технологии. Кроме того, должна быть обеспечена возможность дальнейшего увеличения мощности однострансформаторных КТП при росте нагрузки установкой второго трансформатора.

Для удобства эксплуатации желательно иметь минимальное число типоразмеров трансформаторов.

**Отдельно стоящие ТП** наименее рациональны вследствие удлинения сетей напряжением до 1000 В и увеличения потерь в них. Они применяются как вынужденное решение для питания цехов, опасных в отношении пожара, взрыва или коррозии.

Допустимые расстояния приближения ТП к взрывоопасным цехам регламентируются 0,8-100 м в зависимости от взрывоопасности цеха, открытой или закрытой установки масляных трансформаторов.

Для электроснабжения потребителей промышленных предприятий рекомендуется применять встроенные подстанции, по возможности с наружной установкой трансформаторов, если этому не препятствует архитектурное оформление цехов и между ними обеспечиваются необходимые проезды и разрывы.

Применение отдельно стоящих трансформаторных подстанций допустимо в следующих исключительных случаях:

- при питании от одной подстанции нескольких цехов, если центр их нагрузок находится вне пределов этих цехов или сооружение самостоятельных подстанций в каждом цехе экономически не оправдано;
- при невозможности размещения подстанции у наружных стен цехов по производственным соображениям (отсутствие свободных площадей, взрывоопасная среда и т. п.).

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **2.1 Практическое занятие № 1,2 ( 4 часа).**

**Тема: «Элементы и системы автоматики»**

#### **2.1.1 Задание для работы:**

1. Понятие автоматики, телемеханики и кибернетики связь между ними?
2. Основные элементы автоматики, входящие в САР ТП.
3. Классификация автоматических систем управления?
4. Отличия САР ТП от САУ ТП?
5. Схемы систем автоматики.

#### **2.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследование конструкции элементов автоматики.

#### **2.1.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

### **2.2 Практическое занятие № 3,4 ( 4 часа).**

**Тема: «Классификация автоматических систем управления»**

#### **2.2.1 Задание для работы:**

1. Классификация автоматических систем управления по принципу действия (прямого и непрямого),
2. Классификация автоматических систем управления по величине установившейся ошибки (статические и астатические).

#### **2.2.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать конструкции элементов систем управления.

#### **2.2.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

### **2.3 Практическое занятие №5 ( 2 часа).**

**Тема: «Виды релейных защит»**

#### **2.3.1 Задание для работы:**

1. Устройства, принцип действия электрических реле.
2. Требования, предъявляемые к устройствам релейной защиты?
3. Основные принципы релейной защиты?
4. Принципы действия электромагнитного реле?
5. Схемы включения вторичных реле защиты?

### **2.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать схему МТЗ, ДФЗ, То.

### **2.3.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.4 Практическое занятие № 6,7 ( 4 часа).**

**Тема: «Релейная защита отдельных элементов систем электроснабжения»**

### **2.4.1 Задание для работы:**

1. Релейная защита в сетях напряжением до 1000В?
2. Релейная защита в сетях напряжением свыше 1000В?...

### **2.4.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать схему релейной защиты трансформатора и других систем электроснабжения.

### **2.4.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.5 Практическое занятие №8 ( 2 часа).**

**Тема: «Характеристика объектов автоматизации сельскохозяйственного производства»**

### **2.5.1 Задание для работы:**

1. Характеристика технологических процессов.
2. Структура и принципы управления технологическим процессом.
3. Типовые технические решения при автоматизации технологических процессов.

### **2.5.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать характеристики объектов автоматизации сельскохозяйственного производства.

### **2.5.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.6 Практическое занятие №9 ( 2 часа).**

**Тема: «Системы телемеханики»**

### **2.6.1 Задание для работы:**

1. Принципы построения систем телемеханики.
2. Системы телеизмерения.
3. Системы телеуправления и телесигнализации.

### **2.6.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать схемы систем телемеханики.

### **2.6.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.7 Практическое занятие №10,11 ( 4 часа).**

**Тема: «Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»**

### **2.7.1 Задание для работы:**

1. Устройства автоматического регулирования возбуждения, напряжения и реактивной мощности?
2. Основные задачи автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности.
3. Функции автоматических регуляторов возбуждения.

### **2.7.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать параметры режима электроэнергетических систем.

### **2.7.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.8 Практическое занятие №12 ( 2 часа).**

**Тема: «Противоаварийная автоматика систем электроснабжения»**

### **2.8.1 Задание для работы:**

1. Основные функции принцип работы АПВ и АВР
2. Понятие и функции АЧН (автоматическая частотная нагрузка)

### **2.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать функции работы АПВ и АВР.

### **2.8.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.9 Практическое занятие №13 ( 2 часа).**

**Тема: «Надежность элементов и систем автоматики»**

### **2.9.1 Задание для работы:**

1. Надежность элементов и систем автоматики. Безотказность. Долговечность. Ремонтопригодность сохраняемость. Работоспособное состояние.

2. Интенсивность отказа элемента и системы.

3. Вероятность безотказной работы.

### **2.9.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать надежность элементов и систем автоматики.

### **2.9.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.10 Практическое занятие № 14,15 ( 4 часа).**

**Тема: «Схемы учёта, управления и сигнализации»**

### **2.10.1 Задание для работы:**

1. Схемы управления и сигнализации воздушных и масляных выключателей

2. Защита цепей управления и сигнализации выключателей от коротких замыканий.

3. Наладка и эксплуатация цепей управления и сигнализации выключателей.

### **2.10.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать схемы учета, управления и сигнализации.

### **2.10.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.

## **2.11 Практическое занятие №16 ( 2 часа).**

**Тема: «Общие сведения о сельскохозяйственных технологических процессах»**

### **2.11.1 Задание для работы:**

1. Технологические требования при разработке систем автоматического управления.

2. Технологические установки как объект управления.

3. Основные виды систем автоматизации.

### **2.11.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Исследовать основные виды систем автоматизации.

### **2.11.3 Результаты и выводы:**

Подготовиться по вопросам задания.