

Федеральное агентство по образованию  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой энергетики  
\_\_\_\_\_ Н.В.Савина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2006 г.

## **ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ЧАСТЬ II**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности 140211 – «Электроснабжение»

Составитель: Ю.В. Мясоедов

Благовещенск

2006 г.

Печатается по решению  
редакционно-издательского совета  
энергетического факультета  
Амурского государственного университета

Ю.В. Мясоедов

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Электропитающие системы и сети. Часть II» для студентов очной, заочной и сокращенной форм обучения специальности 140211 – «Электроснабжение». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006, 279 с.

Учебно-методический комплекс ориентирован на оказание помощи студентам очной, заочной и сокращенной форм обучения специальности 140211 – «Электроснабжение» для формирования специальных знаний в области расчета электрических нагрузок, выбора и проектирования схем подстанций, расчета токов коротких замыканий, а также при выборе и проверке электрических аппаратов.

© Амурский государственный университет, 2006

© Ю.В. Мясоедов

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Типовая программа дисциплины.....	4
2. Рабочая программа дисциплины .....	8
2.1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе .....	8
2.2. Содержание дисциплины .....	9
2.2.1. Федеральный компонент.....	9
2.2.2. Наименование тем, их содержание, объем в лекционных часах .....	10
2.2.3. Практические занятия, их содержание и объем в часах.....	10
2.2.4. Лабораторные занятия.....	11
2.2.5. Курсовой проект «Проектирование электрической части подстанции электроснабжения» и его характеристика .....	11
2.2.6. Самостоятельная работа студентов .....	15
2.2.7. Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний .....	15
2.2.8. Вопросы к экзамену.....	15
2.3. Учебно-методические материалы по дисциплине.....	17
2.3.1. Перечень обязательной (основной) литературы.....	17
2.3.2. Перечень дополнительной литературы.....	17
2.3.3. Перечень методических и наглядных материалов, используемых в учебном процессе .....	18
2.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	18
2.5. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины.....	19
2.6. Задания для самостоятельной работы студентов .....	21
3. Краткий конспект лекций .....	22
4. Практические занятия, их содержание и объем в часах .....	162
4.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий....	162
4.2. Перечень тем практических занятий.....	163
4.3. Методические указания по проведению практических занятий .....	163
5. Лабораторные занятия, их содержание и объем в часах.....	164
5.1. Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий... 164	
5.2. Перечень тем лабораторных занятий .....	164
5.3. Методические указания по проведению лабораторных занятий.....	164
6. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта «Проектирование электрической части подстанции электроснабжения» .....	192
7. Самостоятельная работа студентов.....	207
8. Методические указания по выполнению домашних заданий и контрольных работ.....	217
9. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников.....	226
10. Методические указания по применению современных информационных технологий.....	227
11. Методические указания по организации межсессионного контроля знаний студентов .....	227
12. Фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний .....	229
Список использованной литературы .....	243
Приложение.....	245

# 1. Типовая программа дисциплины

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Департамента образовательных  
программ и стандартов профессионального  
образования

\_\_\_\_\_ Л.С.Гребнев  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2001г.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Рекомендуется Минобразованием России для направления подготовки  
специалистов 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.  
Специальность 100400 - Электроснабжение

### 1. Цели и задачи дисциплины.

Целью проработки дисциплины является изучение технических и экономических характеристик основных типов источников питания (теплоцентрали, понижающие подстанции 35-220/6-20 кВ) и сетей энергосистем, питающих системы электроснабжения.

Задачами изучения дисциплины является овладение методами технических и экономических расчетов, на основе которых выбираются конкретные схемные, параметрические, конструктивные и режимные решения для указанных выше источников питания и питающих электрических сетей.

### 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны уметь:

- сформировать схему электрических соединений теплоэлектроцентрали, разработать схему понижающей подстанции 110-220/6-20 кВ;
- для сформированной схемы источника питания выбрать номинальные параметры основного электрооборудования;
- выбрать конструкцию распределительного устройства 6-20 кВ и разработать схему его заполнения;
- рассчитать необходимую для питания района установленную мощность генераторов электростанций, а также мощность компенсирующих устройств по условию баланса мощности энергосистемы;
- на основе технико-экономического анализа выбрать основную схему и номинальные напряжения электрической сети района;
- выбрать основные параметры электрооборудования линий проектируемой сети;
- рассчитать параметры основных нормальных и послеаварийных режимов проектируемой электрической сети и выбрать средства регулирования напряжения на понижающих подстанциях 35-220 кВ.

### 3. Объем дисциплины в виде учебной работы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
Общая трудоемкость дисциплины	200	7, 8
Аудиторные занятия	102	7, 8
Лекции	68	7, 8
Практические занятия (ПЗ)	17	7, 8
Лабораторные работы (ЛР)	17	7
Самостоятельная работа	98	7, 8, 9
Курсовой проект	70	8,9
Подготовка к ПЗ и ЛР	28	
Вид итогового контроля		Зачеты Экзамены

### 4. Содержание дисциплины.

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ	ЛР
1.	ТЭЦ - источники питания систем электроснабжения.	*		*
2.	Понижающие подстанции электрических сетей 35-220 кВ - источники питания систем электроснабжения.	*	*	*
3.	Электрические сети питающих энергосистем.	*	*	
4.	Режимы питающих электроэнергетических систем и управление качеством электроэнергии.	*	*	

## 4.2. Содержание разделов дисциплины.

### 4.2.1. ТЭЦ - источники питания систем электроснабжения.

Формирование схем электрических соединений ТЭЦ в связи с режимами их работы в составе электроэнергетических систем и как источников питания систем электроснабжения. Выбор основного электрооборудования. Конструкции и схемы распределительных устройств. Режимы ТЭЦ.

4.2.2. Понижающие подстанции электрических сетей 35-220 кВ - источники питания систем электроснабжения.

Выбор схем понижающих подстанций 35-220/6-20 кВ, питающих потребителей системы электроснабжения. Расчеты и выбор основного электрооборудования. Современные конструкции распределительных устройств. Режимы работы электрооборудования и обеспечение нормативного качества напряжения.

### 4.2.3. Электрические сети питающих энергосистем

Выбор конструктивного исполнения и номинальных параметров воздушных и кабельных линий электропередачи на основе технико-экономических критериев и с учетом необходимого комплекса ограничений. Выбор схем электрических сетей на основе технико-экономического анализа и с учетом обоснованной надежности электроснабжения потребителей. Методы снижения потерь электроэнергии в электрических сетях 35-220 кВ. Расчеты параметров основных нормальных и послеаварийных режимов электросетей.

4.2.4. Режимы питающих электроэнергетических систем и управление качеством электроэнергии.

Баланс активной и реактивной мощностей в питающих электроэнергетических системах. Выбор мощности и размещение компенсирующих устройств. Основы регулирования частоты. Методы и средства регулирования напряжения.

## 5. Лабораторный практикум.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1.	1.	Схемы, электрооборудование и режимы работы ТЭЦ.
2.	2.	Типы конструкций распределительных устройств. Основное электрооборудование, его конструкции, принципы работы и условия эксплуатации.

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 6.1. Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Электрическая часть станций и подстанций. / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.: Под ред. А.А. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Электрические системы. Электрические сети. / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др. : Под ред. В.А. Веникова и В.А. Строева. М.: Высшая школа, 1998.
3. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях. / В.В. Ежков, Г.К. Зарудский, Э.Н. Зуев и др. : Под ред. В.А. Строева. М.: Высшая школа 1999.

б) дополнительная литература:

1. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Жуков В.В. Выбор электрических схем, аппаратов и проводников распределительных устройств электростанций и подстанций. М.: МЭИ, 1988.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат, 1989.

## 6.2. Средства обеспечения освоения дисциплины.

Расчетные компьютерные программы MATHCAD, REGIM.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Лаборатория электрооборудования, электрических станций и подстанций. Учебный диспетчерский стенд или пункт электрических сетей.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки специалистов 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА специальности 100400 - "Электроснабжение".

Программу составили:

А.А. Глазунов, профессор МЭИ (ТУ)  
В.А. Старшинов, профессор МЭИ (ТУ)

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по специальности 100400 – Электроснабжение.

Председатель Учебно-методической комиссии по специальности 100400  
Электроснабжение

\_\_\_\_\_ Глазунов А.А.

Программа одобрена на заседании Учебно-методического совета по направлению 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА  
от " 15 " декабря 2000 г.                      Протокол № 3

Председатель Учебно-методического совета  
по направлению 650900 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

\_\_\_\_\_ Жуков В.В.

Председатель Совета УМО по образованию в области  
энергетики

\_\_\_\_\_ Аметистов Е.В.

## 2. Рабочая программа дисциплины

### Электропитающие системы и сети. Часть II.

для специальности 140211 – «Электроснабжение»

Курс 3,4 Семестр	Очное обучение			Заочное обучение			Сокращенное обучение		
	6	7	8	8	9	10	5	6	7
Лекции (час)	36	32		14	12		16	14	
Практические занятия	18	16		8	6	2	8	8	2
Лабораторные работы		16		4	4		4	4	
Курсовой проект		40	40		40	40		40	40
Самостоятельная работа				34	50		34	44	
Экзамен	*	*		*	*		*	*	
ВСЕГО часов		214			214			214	

Рабочая программа составлена на основании *Государственного образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 650900 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА специальности 140211 – «Электроснабжение».*

### 2.1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Государственный образовательный стандарт подготовки дипломированного специалиста по направлению 650900 «Электроэнергетика» для специальности 140211 – «Электроснабжение» предусматривает изучение дисциплины «Электропитающие системы и электрические сети» в цикле «Специальные дисциплины». Данная дисциплина относится к наиболее значимым при подготовке дипломированных специалистов.

#### **Цель преподавания дисциплины.**

Целью проработки дисциплины является изучение технических и экономических характеристик основных типов источников питания (теплоцентрали, понижающие подстанции 35-220/6-20 кВ) и сетей энергосистем, питающих системы электроснабжения.

Основой для изучения дисциплин являются курсы «Математика», «Физика», «Электротехника и электроника», «Электроэнергетика». В свою очередь она является базовой для освоения предметов: «Системы электроснабжения», «Надежность систем электроснабжения».

#### **Задачи изучения дисциплины.**

Задачами изучения дисциплины является овладение методами технических и экономических расчетов, на основе которых выбираются конкретные схемные, параметрические, конструктивные и режимные решения для указанных выше источников питания и питающих электрических сетей.



В результате изучения дисциплины студенты должны

**знать:**

- схемы электрических соединений теплоэлектроцентрали, типовые схемы понижающих подстанций 110-220/6-20кВ;
- современное электрическое оборудование;
- конструкции распределительных устройств ВН, СН, НН.

**уметь:**

- сформировать схему электрических соединений теплоэлектроцентрали, разработать схему понижающей подстанции 110-220/6-20кВ;
- для сформированной схемы источника питания выбрать номинальные параметры основного электрооборудования;
- выбрать конструкцию распределительного устройства 6-20 кВ и разработать схему его заполнения;
- рассчитать необходимую для питания района установленную мощность генераторов электростанций, а также мощность компенсирующих устройств по условию баланса мощности энергосистемы;
- на основе технико-экономического анализа выбрать основную схему и номинальные напряжения электрической сети района;
- выбрать основные параметры электрооборудования линий проектируемой сети;
- рассчитать параметры основных нормальных и послеаварийных режимов проектируемой электрической сети и выбрать средства регулирования напряжения на понижающих подстанциях 35-220 кВ.

## **Перечень дисциплин, освоение которых необходимо при изучении данной дисциплины.**

Теоретические основы электротехники: законы электрических цепей, трехфазные цепи, поверхностный эффект и эффект близости.

Электроэнергетика:

раздел Передача и распределение электрической энергии: расчеты режимов разомкнутых и простых замкнутых сетей, схемы эл. сетей, эл. нагрузка, баланс активной и реактивной мощности.

раздел: Производство эл. энергии: эл. схемы и электрооборудование электростанций, собственные нужды и их схемы, резерв мощности.

## **2.2. Содержание дисциплины**

### **2.2.1. Федеральный компонент**

СД.02. Электропитающие системы и электрические сети:

основные источники питания электроэнергией объектов – ТЭЦ, главные понижающие подстанции; их структуры, схемы, основное электрооборудование, режимы работы и конструктивное выполнение; балансы активной и реактивной мощности электроэнергетических систем; регулирование частоты; основы компенсации реактивных нагрузок; проектирование электрических питающих энергосистем, включая выбор схемных решений, параметров основного электрооборудования; расчеты основных режимов и регулирование напряжения.

## 2.2.2. Наименование тем, их содержание, объем в лекционных часах

### 7 семестр

#### **ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС – 42 часа.**

##### **Тема 1. ТЭЦ – источники питания систем электроснабжения. (6 час.)**

Формирование схем электрических соединений ТЭЦ в связи с режимами их работы в составе электроэнергетических систем и как источников питания систем электроснабжения. Выбор основного электрооборудования. Конструкции и схемы распределительных устройств. Режимы работы ТЭЦ.

##### **Тема 2. Понижающие подстанции электрических сетей 35-220 кВ – источники питания систем электроснабжения. (6 час.)**

Принципы выбора схем подстанций. Установка заземляющих ножей и оперативные блокировки. Выбор схем понижающих подстанций 35-220/6-20 кВ, питающих потребителей системы электроснабжения. Схемы ГПП и ПГВ 35-220 кВ. Присоединение РУ напряжением 6-10 кВ к понижающим трансформаторам. Схемы с двумя системами шин. Схемы РП напряжением выше 1 кВ. Схемы ТП 6-10/0,4 кВ. Схемы РП напряжением до 1 кВ.

##### **Тема 3. Расчеты и выбор основного электрооборудования подстанций. (8 час.)**

Выбор и проверка выключателей. Выбор и проверка предохранителей. Выбор и проверка разъединителей. Выбор и проверка токоограничивающих реакторов. Выбор и проверка трансформаторов напряжения. Выбор и проверка автоматических выключателей. Выбор и проверка трансформаторов тока. Выбор и проверка шин и изоляторов. Выбор и проверка кабелей. Выбор и проверка проводов. Выбор и проверка кабелей и проводов до 1 кВ с учетом выбора защиты.

##### **Тема 4. Современные конструкции распределительных устройств подстанций. (6 час)**

Конструктивное исполнение РУ напряжением 0,4 кВ. Конструктивное исполнение РУ напряжением 6-10 кВ. Конструктивное исполнение РУ напряжением 35-220 кВ. Комплектные РУ напряжением до 1 кВ. Комплектные РУ напряжением выше 1 кВ

##### **Тема 5. Режимы питающих электроэнергетических систем и управление качеством электроэнергии. (6 час.)**

Режимы работы электрооборудования и обеспечение нормативного качества напряжения. Баланс активной и реактивной мощности в питающих электроэнергетических системах. Выбор мощности и размещение компенсирующих устройств. Основы регулирования частоты. Методы и средства регулирования напряжения.

## 2.2.3. Практические занятия, их содержание и объем в часах

### **Практические занятия (16 часов)**

Цель проведения практических занятий – научить студентов выбирать схемы и конструкции РУ ТЭЦ и подстанций, выбирать и проверять оборудование ТЭЦ и подстанций, рассчитывать режимы в эл. сетях, уметь выбирать номинальное напряжение сети, сечение проводов и мощности трансформаторов.

Практические занятия проводятся с привлечением пакета программ автоматизации математических расчетов «MathCad» и задач для самостоятельного решения.

## Тематика практических занятий в 7 семестре

№ п/п	Наименование темы	Количество часов
1	Конструкции и схемы РУ ТЭЦ	2
2	Расчет режимов ТЭЦ	2
3	Выбор числа и мощности силовых трансформаторов на ПС с учетом КРМ	2
4	Понижающие подстанции эл. сетей 35-220 кВ. Выбор схем электрических соединений.	2
5	Понижающие подстанции эл. сетей 35-220 кВ. Компоновка электрооборудования.	2
6	Электродинамическое и термическое воздействие токов КЗ на оборудование ПС	2
7	Выбор и проверка электрических аппаратов и проводников.	2
8	Обзор задач по всем темам за семестр	2

### 2.2.4. Лабораторные занятия

#### Тематика лабораторных занятий в 7 семестре. (16 часов)

№ п/п	Наименование темы	Количество часов
1	Конструкции и схемы РУ ТЭЦ	4
2	Электрооборудование и режимы работы ТЭЦ.	4
3	Типы конструкций распределительных устройств.	4
4	Основное электрооборудование, его конструкции, принципы работы и условия эксплуатации.	4

Цель проведения лабораторных занятий – ознакомить студентов со схемами РУ ТЭЦ и подстанций, с устройством и конструкцией электрических аппаратов ТЭЦ и подстанций, привить навыки практической работы с электрооборудованием и условиями его эксплуатации.

### 2.2.5. Курсовой проект «Проектирование электрической части подстанции электроснабжения» и его характеристика

Курсовой проект по данной дисциплине выполняется в 8 семестре и предназначен для изучения вопросов проектирования электрической части подстанций электроснабжения: расчета электрических нагрузок, выбора уровня рационального напряжения, выбора числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности, выбора главной электрической схемы подстанции, выбора числа и сечений питающих линий, расчета токов коротких замыканий, выбора и проверки основного электрического оборудования, выбора системы оперативного тока на подстанции, решения вопросов компенсации емкостных токов замыкания на землю и др.

## Курсовой проект №2 (8 семестр)

### *Варианты I.1 ÷ I.20.*

Выбрать мощность и количество трансформаторов ГПП для питания потребителей электроэнергии I, II и III категорий. Определить мощность компенсирующих устройств для компенсации реактивной мощности до  $\cos\varphi=0,95$  и предусмотреть их установку.

Потребителями электроэнергии при напряжении 380/220 В являются в основном асинхронные электродвигатели небольшой мощности, преобразовательные агрегаты, сварочные трансформаторы, освещение. Нагрузки сконцентрированы в 10 пунктах равномерно, в радиусе около 800 м.

Приведенные в таблице варианты нагрузки – потребляемые. Число часов использования максимума нагрузок – 3800 час/г.

Выбрать напряжение и число линий питания перечисленных нагрузок, если известно, что питание возможно от энергосистемы, ближайшая подстанция которой удалена от потребителей на указанное в таблице вариантов расстояние.

На подстанции энергосистемы установлены трехобмоточные трансформаторы напряжением 220/110/35 кВ. Мощность короткого замыкания на шинах 220 кВ подстанции составляет 6000 МВ·А. Составить схему электроснабжения, исходя из указанных условий, и разработать однолинейную схему коммутации ГПП.

Рассчитать токи короткого замыкания на шинах ГПП и выбрать основное оборудование (выключатели, отделители, короткозамыкатели, трансформаторы тока и напряжения, разъединители, проходные и опорные изоляторы, сборные шины) с проверкой на действие токов короткого замыкания.

Описать второй лист графической части проекта в соответствии с таблицей вариантов.

### *Варианты II.1 ÷ II.20*

Выбрать и обосновать принципиальную электрическую схему ГПП промышленного предприятия в части РУ–110(35) кВ и 10(6) кВ. Рассчитать, используя метод коэффициента спроса, потребную мощность нагрузок, выбрать количество и мощность трансформаторов ГПП, предполагая, что нагрузки относятся к потребителям I, II и III категориям, причем нагрузки III категории составляют 30% общей нагрузки. Установленные мощности нагрузок приведены в таблице вариантов.

Вычислить токи короткого замыкания и выбрать основное оборудование ГПП. Питание осуществляется от подстанции энергосистемы и с шин ТЭЦ по самостоятельным линиям 110 кВ. Генераторы ТЭЦ и энергосистемы снабжены АРН.

Для ограничения токов короткого замыкания на вводах со стороны низшего напряжения трансформаторов ГПП должны быть предусмотрены, в случае необходимости, реакторы.

Потребители электроэнергии I, II и III категорий сосредоточены равномерно в 12 пунктах, находящихся в радиусе 500–800 м от ГПП.

Примечания.

1. Нагрузка присоединений к шинам ГПП должна приниматься в пределах 4500–6500 кВА.
2. При расчете электрических нагрузок использовать ПК.

Таблица вариантов I.1÷I.10

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Данные вариантов										
Нагрузка в кВт										
I категории	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	4000	3500	3000
II категории	5500	6300	7000	7500	8000	8500	9000	8000	7500	7000
III категории	5000	5500	5000	5000	5500	5000	4500	5000	4500	4000
Коэффициент мощности	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,75	0,73	0,71
Расстояние до подстанции энергосистемы (км)	30	35	40	45	50	55	60	50	40	30
Мощность трансформаторов энергосистемы (МВ·А)	100	100	125	160	200	160	125	100	200	160
Графика, 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Таблица вариантов I.11÷I.20

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Данные вариантов										
Нагрузка в кВт										
I категории	2500	2000	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
II категории	6500	6000	5000	5800	6000	6500	7000	7500	8000	8500
III категории	3500	5000	5500	5000	5500	5500	5000	4000	4800	4500
Коэф-нт мощности	0,69	0,67	0,65	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78
Расстояние до подстанции энергосистемы (км)	25	20	25	30	35	40	45	50	45	40
Мощность трансформаторов энергосистемы, МВ·А	125	100	100	100	100	125	125	160	160	200
Графика 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Примечание : на однолинейной схеме коммутации должны быть показаны все аппараты (выключатели, разъединители, силовые и измерительные трансформаторы, реакторы, предохранители), а также измерительные приборы вторичной коммутации; нагрузку присоединений к шинам ГПП следует принимать в пределах 4500–6500 кВА.

Таблица вариантов II.1÷II.10

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Данные вариантов										
ЛЭП-110 кВ, (км)	15	20	25	30	35	40	35	30	25	20
ЛЭП-110 кВ, (км)	12	14	16	18	20	22	23	21	21	19
ЛЭП-110 кВ, (км)	14	16	18	20	23	28	29	27	26	25
Генераторы Г-1, Г-2 (МВт)	60	80	100	150	160	160	150	100	80	60
-генераторов	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83
-генераторов	0,125	0,126	0,127	0,128	0,129	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125
Трансформаторы Т1,Т2 (МВА)	80	100	125	160	200	200	160	125	100	80
Вентиляторы производствен. Насосы, двигатель-генер.(кВт)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Станки цехов горячей обработки металлов при поточном производстве, (кВт)	5600	5800	6000	6300	6700	7100	6900	6600	6400	6200
То же при холодной обработке метал. (кВт)	4800	5100	5400	5700	5900	6400	6200	6000	5800	5600
Вентиляторы сангигиенические (кВт)	1700	1600	1500	1400	1300	1400	1500	1600	1700	1400
Механизмы непрерывного транспорта (кВт)	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3300	3100	2800	2800
Краны цеховые (кВт)	2550	2700	2800	3000	3300	3700	3500	3300	3200	3000
Печи плавильные (кВт)	4600	4900	3500	3700	4000	5700	5000	3800	3600	3400
Тр-ры сварочные (кВт)	1700	1800	1900	2000	2400	2600	2600	2400	2200	2000
Освещение (кВт)	300	330	360	390	420	440	440	420	400	380
Графика, 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Таблица вариантов II.11÷II.20

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Данные вариантов										
ЛЭП-110 кВ, (км)	15	20	25	30	35	40	35	30	25	25
ЛЭП-110 кВ, (км)	17	15	13	15	17	19	21	23	25	27
ЛЭП-110 кВ, (км)	23	21	19	17	15	16	18	20	22	24
Генераторы Г-1, Г-2 (МВт)	50	100	60	80	100	120	160	160	120	100
-генераторов	0,82	0,84	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,85	0,84
-генераторов	0,124	0,123	0,124	0,125	0,126	0,127	0,128	0,128	0,127	0,126
Трансформаторы Т1,Т2 (МВА)	63	125	80	100	125	160	200	200	160	125
Вентиляторы производствен. Насосы, двигатель-генер.(кВт)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Станки цехов горячей обработки металлов, (кВт)	6000	5800	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000	7500
То же при холодной обработке метал. (кВт)	5300	5000	5000	5300	5600	5900	6200	6500	6800	7100
Вентиляторы сангигиенические (кВт)	1500	1600	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	1800
Механизмы непрерывного транспорта (кВт)	2700	2600	2400	2550	2700	2850	3000	3150	3300	3000
Краны цеховые (кВт)	2800	2600	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3100
Печи плавильные (кВт)	3100	4800	3600	3600	3700	3800	3900	4000	4200	4300
Тр-ры сварочные (кВт)	1900	1800	1900	1800	1700	1800	1900	2000	2100	2200
Освещение (кВт)	360	340	300	320	340	360	380	400	420	420
Графика, 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

## 2.2.6. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа студентов включает изучение лекционного материала и литературы по дисциплине при подготовке к практическим занятиям. Контроль за степенью усвоения материала рекомендуется осуществлять с помощью вопросов для самопроверки.

Объем и формы контроля самостоятельной работы отличаются для студентов дневной и заочной (в том числе сокращенной) форм обучения и приведены в соответствии в п.п. 2.5 и 2.6.

## 2.2.7. Перечень и темы промежуточных форм контроля знаний

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы;
- выполнение индивидуальных домашних заданий с последующей их защитой;
- коллоквиум: «Конструктивное исполнение подстанций электроснабжения»;
- комплексные задания по разработке однолинейной схемы подстанции, расчету токов КЗ, выбору и проверке оборудования.

## 2.2.8. Вопросы к экзамену

1. Режимы работы нейтралей в установках напряжением  $< 1$  кВ
2. Режимы работы нейтралей в установках напряжением  $> 1$  кВ
3. Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции.
4. КРМ на подстанциях
5. Назначение, конструкция, прокладка и область применения токопроводов 6-35 кВ.
6. Назначение, конструкция, прокладка и область применения шинпроводов 0,4 кВ.
7. Изоляторы и шины РУ напряжением  $> 1$  кВ
8. Назначение и конструкция разъединителей.
9. Конструкции трансформаторов тока.
10. Измерительные трансформаторы тока: назначение, полярность, схема замещения, режим работы, погрешность.
11. Измерительные трансформаторы напряжения: назначение, схема замещения, режим работы, погрешность.
12. Способы ограничения токов КЗ
13. Вакуумные выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
14. Воздушные выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
15. Масляные выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
16. Элегазовые выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
17. Выключатели нагрузки
18. Плавкие предохранители: защитная характеристика, материал плавкой вставки.
19. Автоматические выключатели
20. Короткие замыкание в системах электроснабжения напряжением выше 1 кВ

21. Короткие замыкание в системах электроснабжения напряжением до 1 кВ
22. Электродинамическое действие тока к.з.: влияние расположения проводников, их форма, методика проверки на электродинамическую стойкость.
23. Нагрев проводников в нормальном режиме и при коротком замыкании.
24. Термическая стойкость проводников и аппаратов при коротком замыкании.
25. Импульс квадратичного тока, определение конечной температуры нагрева проводников при коротком замыкании.
26. Электрическая дуга: факторы, способствующие и препятствующие горению.
27. Гашение дуги в выключателях постоянного тока.
28. Гашение дуги переменного тока.
29. Выбор и проверка выключателей.
30. Выбор и проверка предохранителей.
31. Выбор и проверка автоматических выключателей
32. Выбор и проверка разъединителей.
33. Выбор и проверка токоограничивающих реакторов.
34. Выбор и проверка трансформаторов напряжения.
35. Выбор и проверка трансформаторов тока.
36. Выбор и проверка шин и изоляторов
37. Выбор и проверка кабелей
38. Выбор и проверка проводов
39. Выбор и проверка кабелей и проводов до 1 кВ с учетом выбора защиты
40. Принципы выбора схем подстанций
41. Установка заземляющих ножей и оперативные блокировки
42. Схемы ГПП и ПГВ 35-220 кВ.
43. Присоединение РУ напряжением 6-10 кВ к понижающим трансформаторам
44. Схемы с двумя системами шин.
45. Схемы РП напряжением выше 1 кВ
46. Схемы ТП 6-10/0,4 кВ.
47. Схемы РП напряжением до 1 кВ
48. Комплектные РУ напряжением выше 1 кВ
49. Комплектные РУ напряжением до 1 кВ
50. Конструктивное исполнение РУ напряжением 6-10 кВ
51. Конструктивное исполнение РУ напряжением 35-220 кВ
52. Схемы эл.сетей напряжением > 1 кВ
53. Схемы эл.сетей напряжением < 1 кВ
54. Конструктивное выполнение электрических сетей.
55. Воздушные линии: общие сведения, провода ВЛ, изоляторы, опоры.
56. Кабельные линии: конструкция, способы прокладки.
57. Конструктивное исполнение цеховых сетей напряжением до 1 кВ. Общие сведения.
58. Электропроводки.
59. Силовые трансформаторы.
60. Допустимые нагрузки кабелей 6-35 кВ.
61. Допустимые нагрузки кабелей 0,4 кВ.
62. Выбор сечений жил кабеля напряжением выше 1 кВ.
63. Выбор сечений жил кабеля напряжением до 1 кВ
64. Допустимые нагрузки на неизолированные провода.
65. Выбор сечений изолированных (неизолированных) проводов ВЛ напряжением до 1 кВ.
66. Выбор сечений изолированных (неизолированных) проводов ВЛ напряжением выше 1 кВ



## 2.3. Учебно-методические материалы по дисциплине

### 2.3.1. Перечень обязательной (основной) литературы

1. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Мастерство, 2002.
2. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Электрическая часть станций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.
3. Г.Н. Ополева. Схемы и подстанции электроснабжения. – М.: ФОРУМ - ИНФРА-М. 2006.
4. Электрическая часть станций и подстанций./ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.: под ред. А.А. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Электрические системы. Электрические сети. / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др. : Под ред. В.А. Веникова и В.А. Строева. М.: Высшая школа, 1998.
6. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях. / В.В. Ежков, Г.К. Зарудский, Э.Н. Зуев и др. : Под ред. В.А. Строева. М.: Высшая школа 1999.

### 2.3.2. Перечень дополнительной литературы.

1. Зуев Э. Основы техники подземной передачи электроэнергии. М.: «Знак» Москва, 2000.
2. Электротехнический справочник: В 4т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ: В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.и. Попов) - М.: Изд-во МЭИ, 2002, 964 с.
3. Коваленко В.В., Ивашина А.В., Нагорный А.В., Кравцов А.В. Электроснабжение сельского хозяйства. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – СтГАУ, АГРУС, 2004.
4. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций. Уч.пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т. 2002.
5. Попов Л.В. Кабельные линии 110 кВ с полиэтиленовой изоляцией. - М.: Энергоатомиздат, 1994.
6. Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989, 680 с.
7. Справочник по проектированию подстанций 35 - 500 кВ/ под ред. С.С. Рокотяна, Я.С. Самойлова/ - М.: Энергоиздат, 1982, 352 с.
8. Справочник по проектированию систем электроснабжения/ под ред. Ю.Г. Барыбина, и др. - М.: Энергоатомиздат, 1991
9. Справочник по проектированию электросетей и электрооборудования/ под ред. Ю.Г. Барыбина - М.: Энергоатомиздат, 1991
10. Жуков В.В. Выбор электрических схем, аппаратов и проводников распределительных устройств электростанций и подстанций. М.: МЭИ, 1988.

### 2.3.3. Перечень методических и наглядных материалов, используемых в учебном процессе

#### *Методические пособия*

1. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Электрическая часть станций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.
2. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2002.
3. Ю.В. Мясоедов, Н.В.Савина, А.Н.Козлов Автоматизация в курсовом и дипломном проектировании. Благовещенск, 2000.
4. Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах: Учебное пособие, изд. АмГУ 1999, 238 с.
5. Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию. «Районная электрическая сеть» - Благовещенск, 1993г.
6. Каганов И.П. Курсовое и дипломное проектирование. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990.

#### *Наглядные пособия*

В качестве методического и наглядного обеспечения дисциплины “Электропитающие системы и сети. Часть II.” используются:

1. Компьютерные презентации схем и планов компоновки подстанций электроснабжения, электротехнического электрооборудования, слайды, технические характеристик, каталоги по электрическому оборудованию, типовые проекты ТП и РП. ОАО «ПО Элтехника» (Санкт-Петербург), ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», ОАО «Ангарский электроаппаратный завод» в среде Microsoft Office PowerPoint - 3 компакт диска.
2. Лазерные пленки к проектоскопу по теме «Конструкция ВЛ и КЛ» - 18 штук.
3. Электронная схема г.Благовещенска.
4. Тренажер городской распределительной электрической сети.
5. Наумов И.В. Мультимедиа учебник «Электроснабжение сельского хозяйства». Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. 2005.
6. Эл. схема Амурской энергосистемы.
7. Физическая модель подстанции РУ-10кВ

#### *Программы для ПЭВМ*

1. Учебные программные комплексы для ПЭВМ, разработанные кафедрой энергетики: "CURSE2", "CURS PM" "KRNET", "Расчет эл.сети, G1.
2. Промышленные ПВК: "SDO-6", "RASTR".
3. Пакет программ «MathCad».

### **2.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Специализированная лаборатория по электроснабжению.
2. Ячейки КСО 295, КСО 386, щиты ЩО -70.
3. Класс тренажеров.
4. Компьютерный класс.
5. Лаборатория электрооборудования, электрических станций и подстанций.
6. Учебный диспетчерский стенд и пункт электрических сетей.

## 2.5. Учебно-методическая (технологическая) карта дисциплины

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семина.)	лабор.		содерж.	часы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	Формирование схем электрических соединений ТЭЦ в связи с режимами их работы в составе электроэнергетических систем и как источников питания систем электроснабжения.	1	1	Электрическая часть станций и подстанций./ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др			блиц-опрос
2	1	Выбор основного электрооборудования. Конструкции и схемы распределительных устройств.			Справочник по проектированию подстанций 35 - 500 кВ/ под ред. С.С. Рокотяна, Я.С. Самойлова	Расчет электрических нагрузок подстанции	1	блиц-опрос
3	1	Режимы работы ТЭЦ	2	1	Электрическая часть станций и подстанций./ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др			блиц-опрос
4	2	Принципы выбора схем подстанций. Установка заземляющих ножей и оперативные блокировки.			Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов			контрольная работа
5	2	Выбор схем понижающих подстанций 35-220/6-20 кВ, питающих потребителей системы электроснабжения.  Схемы ГПП и ПГВ 35-220 кВ.	3	2	Справочник по проектированию подстанций 35 - 500 кВ/ под ред. С.С. Рокотяна, Я.С. Самойлова	Выбор числа и мощности трансформаторов	1	блиц-опрос
6	2	Присоединение РУ напряжением 6-10 кВ к понижающим трансформаторам. Схемы с двумя системами шин. Схемы РП напряжением выше 1 кВ. Схемы ТП 6-10/0,4 кВ. Схемы РП напряжением до 1 кВ.			Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов			блиц-опрос
7	4	Выбор и проверка выключателей. Выбор и проверка предохранителей. Выбор и проверка разъединителей. Выбор и проверка трансформаторов напряжения. Выбор и проверка автоматических выключателей. Выбор и проверка трансформаторов тока.	4	2	Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций.	Выбор схемы и конструкции и ПС	1	защита индивидуальных домашних заданий
8	4	Выбор и проверка токоограничивающих реакторов.			Справочник по проектированию электросетей и электрооборудования/ под ред. Ю.Г. Барыбина			блиц-опрос
9	4	Выбор и проверка шин и изоляторов.	5	3	Справочник по проектированию электросетей и электрооборудования/ под ред. Ю.Г. Барыбина	Расчет токов КЗ	1	контрольная работа
10	4	Выбор и проверка кабелей. Выбор и проверка проводов. Выбор и проверка кабелей и проводов до 1 кВ с учетом выбора защиты.			Лазерные пленки к проектоскопу по теме «Конструкция ВЛ и КЛ» -18 штук			блиц-опрос
11	5	Конструктивное исполнение РУ напряжением 0,4 кВ. Конструктивное исполнение РУ напряжением 6-10 кВ.	6	3	Презентации, слайды, технические характеристик, каталоги по электрическому оборудованию, типовые проекты ТП и РП. ОАО «ПО Элтехника» (Санкт-Петербург), ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», ОАО «Ангарский электроаппаратный завод» - 3 компакт диска	Выбор электрических аппаратов	1	блиц-опрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	5	Конструктивное исполнение РУ напряжением 35-220 кВ.			Презентации, слайды, технические характеристики, каталоги по электрическому оборудованию, типовые проекты ТП и РП. ОАО «ПО Элтехника» (Санкт-Петербург), ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», ОАО «Ангарский электроаппаратный завод» - 3 компакт диска	Выбор электрических аппаратов	1	блиц-опрос
13	5	Комплектные РУ напряжением до 1 кВ. Комплектные РУ напряжением выше 1 кВ	7	4	Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию. «Районная электрическая сеть»	Выбор и проверка токоведущих частей	1	защита индивидуальных домашних заданий
14	6	Режимы работы электрооборудования и обеспечение нормативного качества напряжения.			Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах			контрольная работа
15	6	Баланс активной и реактивной мощности в питающих электроэнергетических системах. Выбор мощности и размещение компенсирующих устройств.	8	4	Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах			защита индивидуальных домашних заданий
16	6	Основы регулирования частоты. Методы и средства регулирования напряжения.			Электротехнический справочник: В 4т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии	Комплексное задание	1	комплексное задание

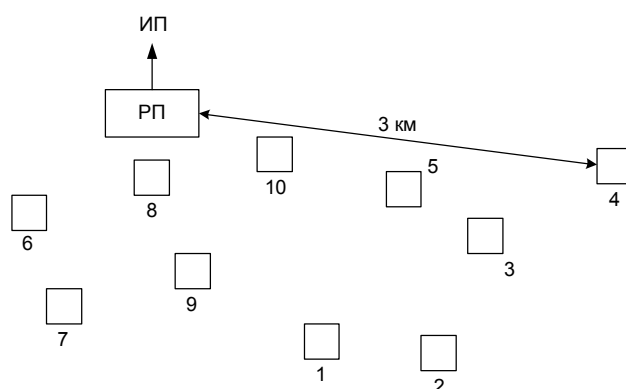
## 2.6. Задания для самостоятельной работы студентов

В процессе изучения дисциплины (после каждого практического занятия) студенты последовательно разрабатывают предложенные в задании вопросы и защищают их согласно графику, указанному в учебно-методической (технологической) карте дисциплины.

На последнем практическом занятии студенты защищают комплексное задание целиком, с его анализом и оценкой принятых инженерных решений.

### Пример задания №1

При развитии системы электроснабжения города к существующей РП необходимо подключить вновь вводимые ТП в количестве 10 штук. Из них от пяти ТП (ТП 6 – ТП 10) питаются коммунально-бытовые потребители II и III категории по надежности, от остальных ТП – III категории. Расположение ТП показано на рисунке 1. Номинальная мощность трансформаторов ТП следующая: ТП 1,4,9 – 250 кВА; ТП 2,3,10 – 630 кВА; ТП 6-8 – 400 кВА. РП необходимо запитать от городской понизительной подстанции, расположенной на расстоянии 3 км. Мощность КЗ на шинах 10 кВ городской понизительной подстанции 350 МВА.



- 1) К ТП – 5 подключается школа на 900 учащихся и квартальная отопительная котельная с удельной тепловой нагрузкой 50 Гкал/ч с теплоносителем водой. Рассчитать электрические нагрузки распределительных линий 0,4 кВ. Разработать схему низковольтного электроснабжения от ТП – 5 с выбором и проверкой соответствующих элементов (с учетом ВРУ).
- 2) Выбрать число и мощность трансформаторов на ТП – 5. Выбрать схему и конструкцию ВРУ.
- 3) Рассчитать токи короткого замыкания на вводе распределительного устройства котельной, расположенной в 500 м от ТП – 5.
- 4) В линии, питающей ТП – 5 вблизи от ТП - 5, произошло трехфазное короткое замыкание. Какая защита его отключит? Принцип ее работы. Действия персонала с соблюдением правил техники безопасности в этом случае.
- 5) Каким образом осуществляется учет электроэнергии в рассматриваемом задании? Виды коммерческих потерь, характерных для рассматриваемого случая.

### 3. Краткий конспект лекций

#### Тема 1. ТЭЦ – источники питания систем электроснабжения. (6 час.)

Формирование схем электрических соединений ТЭЦ в связи с режимами их работы в составе электроэнергетических систем и как источников питания систем электроснабжения. Выбор основного электрооборудования. Конструкции и схемы распределительных устройств. Режимы работы ТЭЦ.

#### Введение

Основными источниками питания большинства предприятий являются электростанции (в том числе шины генераторного напряжения), собственные ТЭЦ и районные подстанции энергосистем. Выбор независимых источников питания осуществляет энергоснабжающая организация, которая в технических условиях на присоединение указывает их характеристики.

В соответствии с нормативными требованиями, определенными в ПУЭ, питание потребителей первой категории допускается производить от двух секций или систем шин одной районной подстанции. В настоящее время это широко используется при проектировании многих промышленных предприятий, но является недостаточно надежным. Разработчику проекта электроснабжения следует обратить особое внимание на следующие факторы, определяющие бесперебойность питания электроприемников при аварийном отключении одного из независимых источников питания:

- установившееся значение напряжения на оставшемся источнике питания в послеаварийном режиме должно быть не менее 0,9 номинального напряжения;
- при аварийном отключении одного из источников питания и действии релейной защиты и автоматики на оставшемся источнике питания может иметь место кратковременное снижение напряжения. Если значение провала напряжения и его продолжительность таковы, что вызывают отключение электроприемников на оставшемся источнике питания, то эти источники питания не могут считаться независимыми. Значение оставшегося напряжения на резервирующем источнике питания должно быть не менее 0,7 номинального напряжения.

Для повышения надежности электроснабжения предприятий с потребителями первой категории большой мощности необходимо предусматривать два территориально независимых источника питания. Число независимых источников питания, обеспечивающих электроснабжение предприятия с электроприемниками первой и второй категорий, может быть больше двух (при обосновании), например, при протяженных линиях электропередачи, прокладываемых в неблагоприятных условиях, при недостаточной надежности одного из независимых источников питания и т. д.

Электроснабжение потребителей при имеющейся собственной ТЭЦ достаточной мощности чаще всего осуществляется от шин генераторного напряжения 6 или 10 кВ. В некоторых случаях в схемах внешнего электроснабжения предусматриваются связи источников питания с потребителями на генераторном напряжении 10(6) кВ, особенно для предприятий большой мощности с потребителями первой и второй категорий. Это позволяет существенно повысить надежность электроснабжения потребителей. Для того чтобы исключить влияние различных повреждений на работу генераторов, следует шире применять современные микропроцессорные системы релейной защиты и автоматики, обеспечивающие высокочувствительную многофункциональную диагностику повреждений, локализацию повреждений на отдельных участках сети и предотвращение перерастания локальных аварий в системные.

На промышленных предприятиях с потребителями первой и второй категорий, значительно удаленных от ТЭЦ, целесообразно сооружение собственного независимого источника питания. До последнего времени считалось, что создание собственных

источников питания на предприятиях экономически нецелесообразно, за исключением источников питания для потребителей особой группы электроприемников первой категории. Но в условиях рыночной экономики, при постоянном росте тарифов на электроэнергию, собственные источники питания — оправданное решение, позволяющее существенно повысить надежность электроснабжения потребителей первой и второй категорий.

С начала 90-х годов в энергосистемах наметилась тенденция питания потребителей с шин районных подстанций на напряжениях 110—220 кВ. Это диктуется стремлением гальванически развязать сети генераторов и потребителей для исключения влияния различного рода повреждений в сети потребителя на работу генераторов. На многих строящихся электростанциях вообще не предусматриваются распределительные устройства 6, 10 и 35 кВ, предназначенные для потребителей электроэнергии, вся мощность передается на напряжениях 110 и 220 кВ к ближайшим районным подстанциям. Строительство собственных ТЭЦ на предприятиях также считается невыгодным. Такие решения экономически оправданы для энергокомпаний, но могут существенно снизить надежность электроснабжения потребителей.

Сооружение собственных электростанций (ТЭЦ, ТЭС) целесообразно при следующих обстоятельствах:

- при значительной потребности предприятия в паре и горячей воде;
- при наличии на предприятии отходного топлива (газа и т. п.) и возможности его использования для электростанции;
- при значительной удаленности или недостаточной мощности энергосистемы;
- при наличии особых групп электроприемников с повышенными требованиями к бесперебойности питания, когда собственный источник питания необходим для резервирования электроснабжения.

Мощность собственного источника питания зависит от его назначения и может колебаться в очень широких пределах. Размещение собственной электростанции определяется общей схемой электроснабжения и теплоснабжения предприятия. Неудачное ее расположение может привести к удлинению и удорожанию электрических и тепловых сетей. Электростанция, используемая в качестве собственного источника питания, должна быть электрически связана с ближайшими электрическими сетями энергосистемы. Связь может осуществляться либо непосредственно на генераторном напряжении, либо на повышенном напряжении через трансформаторы связи.

### Потребители электрической энергии

Электроустановка — это совокупность машин, аппаратов, линий электропередачи и вспомогательных устройств, предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

Потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия, электрифицированный транспорт, объекты строительства, бытовые потребители, сфера обслуживания городов и поселков, а также потребители собственных нужд электростанций - механизмы, обслуживающие технологический процесс производства электроэнергии.

Режим потребления электроэнергии определяется характером нагрузки, временем суток и года и может быть представлен графиком нагрузки — зависимостью активной, реактивной и полной мощности от времени. На рис. а — в представлены суточные графики активной нагрузки рабочих суток трех цехов предприятия. В тех же осях координат по показаниям варметров можно построить суточные графики реактивной нагрузки цехов.

Суммируя нагрузки в соответствующие отрезки времени, строят суточный график предприятия (рис. з). Как видно из графика,  $P_{\max}$  имеет место в период от 16 до 19 ч:

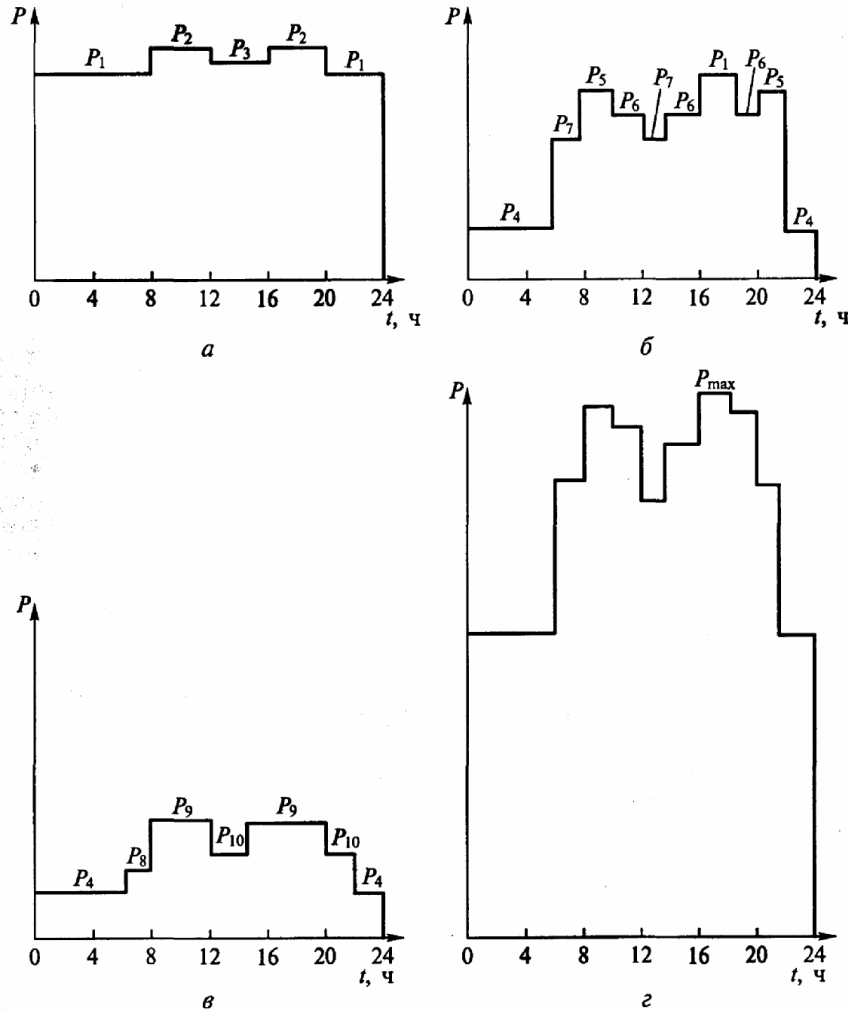
$$P_{\max} = P_2 + P_1 + P_9.$$

Определив по графику реактивных нагрузок предприятия  $Q_{\max}$  (построение аналогично рис.), можно найти полную потребляемую мощность

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{\max}^2},$$

по которой определяется соответствие мощности трансформаторов, установленных на подстанции предприятия.

Графики нагрузок зимних суток отличаются от графиков летних суток и графиков выходных и праздничных дней.



При проектировании пользуются типовыми графиками для различных отраслей промышленности, ординаты которых выражены в процентах максимальной нагрузки  $P_{\max}$ . Последняя определяется следующим образом. Зная номинальную мощность электроприемников  $\Sigma P_{\text{ном}}$ , определяют установленную мощность

$$P_{\text{уст}} = \Sigma P_{\text{ном}}.$$

Присоединенная мощность на шинах подстанции

$$P_{\text{пр}} = \frac{\Sigma P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ср.л}} \eta_{\text{ср.с}}},$$

где  $\eta_{\text{ср.л}}$  и  $\eta_{\text{ср.с}}$  — средние КПД электроустановок потребителей и местной сети при номинальной нагрузке, учитывающие потери активной мощности.

Действительная нагрузка меньше  $P_{\text{пр}}$ , так как загрузка потребителей меняется, а работают они не все одновременно. Это учитывается введением  $k_z$  — коэффициента загрузки и  $k_o$  — коэффициента одновременности:



$$P_{\max} = \frac{k_0 k_3}{\eta_{\text{ср.л}} \eta_{\text{ср.с}}} \sum P_{\text{ном}} = k_{\text{ср}} \sum P_{\text{ном}},$$

где  $k_{\text{ср}}$  — коэффициент спроса, определяется по справочной литературе для конкретной группы потребителей.

Определив  $P_{\max}$ , пересчитывают ординаты типового графика в именованные единицы и пользуются им в дальнейших расчетах при выборе мощности питающих трансформаторов или сечения питающих линий.

#### Годовой график продолжительности нагрузок

На рис. а построены два характерных суточных графика (зимний и летний). Для построения годового графика по продолжительности (рис. б) по оси ординат откладывают значение нагрузок, начиная с  $P_{\max}$ , а по оси абсцисс — продолжительность действия этой нагрузки в году. Например,  $P_1 = P_{\max}$  действует в течение  $T_1 = t_1 183$  ( $t_1$  — время действия в суточном зимнем графике; 183 — число таких графиков в году). Нагрузка  $P_2$  действует в течение  $T_2 = t_2 183$  и т.д.

По графику продолжительности нагрузки можно вычислить некоторые технико-экономические показатели установки. Площадь, ограниченная ступенчатой кривой графика активной нагрузки, численно равна энергии, произведенной или потребленной за рассматриваемый период:

$$W_{\text{п}} = \sum P_i T_i,$$

где  $P$  — мощность  $i$ -й ступени;  $T_i$  — продолжительность ступени.

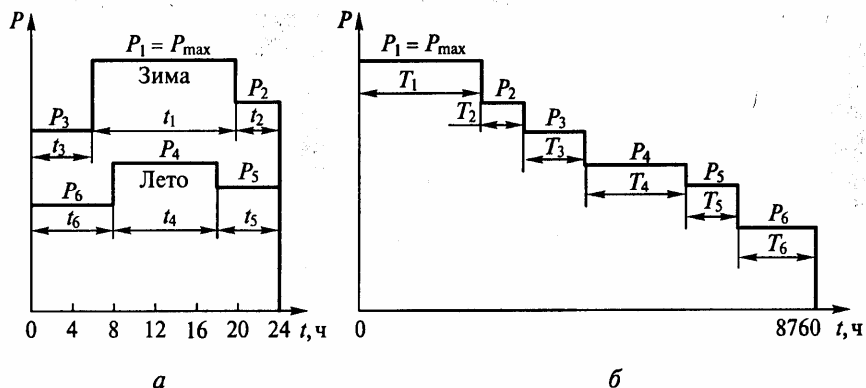


Рис. Построение годового графика продолжительности нагрузок

Средняя нагрузка за рассматриваемый период (сутки, год)

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{п}}}{T},$$

где  $W_{\text{п}}$  — произведенная или потребленная электроэнергия за этот период;  $T$  — длительность рассматриваемого периода.

Неравномерность графика работы установки оценивается коэффициентом заполнения

$$k_{\text{зп}} = \frac{W_{\text{п}}}{P_{\max} T} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}}.$$

Чем равномернее график, тем ближе к единице  $k_{\text{зп}}$ . Характерна для графика продолжительность использования максимальной нагрузки

$$T_{\max} = \frac{W_{\text{п}}}{P_{\max}} = \frac{P_{\text{ср}} T}{P_{\max}} = k_{\text{зп}} T.$$

Эта величина показывает, сколько часов за рассматриваемый период  $T$  (обычно год) установка должна была бы работать с неизменной максимальной нагрузкой, чтобы выработать (потребить) действительное количество электроэнергии  $W_{\text{п}}$ .

В практике применяют также коэффициент использования установленной мощности

$$k_{и} = \frac{W_{п}}{TP_{уст}} = \frac{P_{ср}}{P_{уст}}$$

или продолжительность использования установленной мощности

$$T_{уст} = W_{п}/P_{уст} = k_{и}T.$$

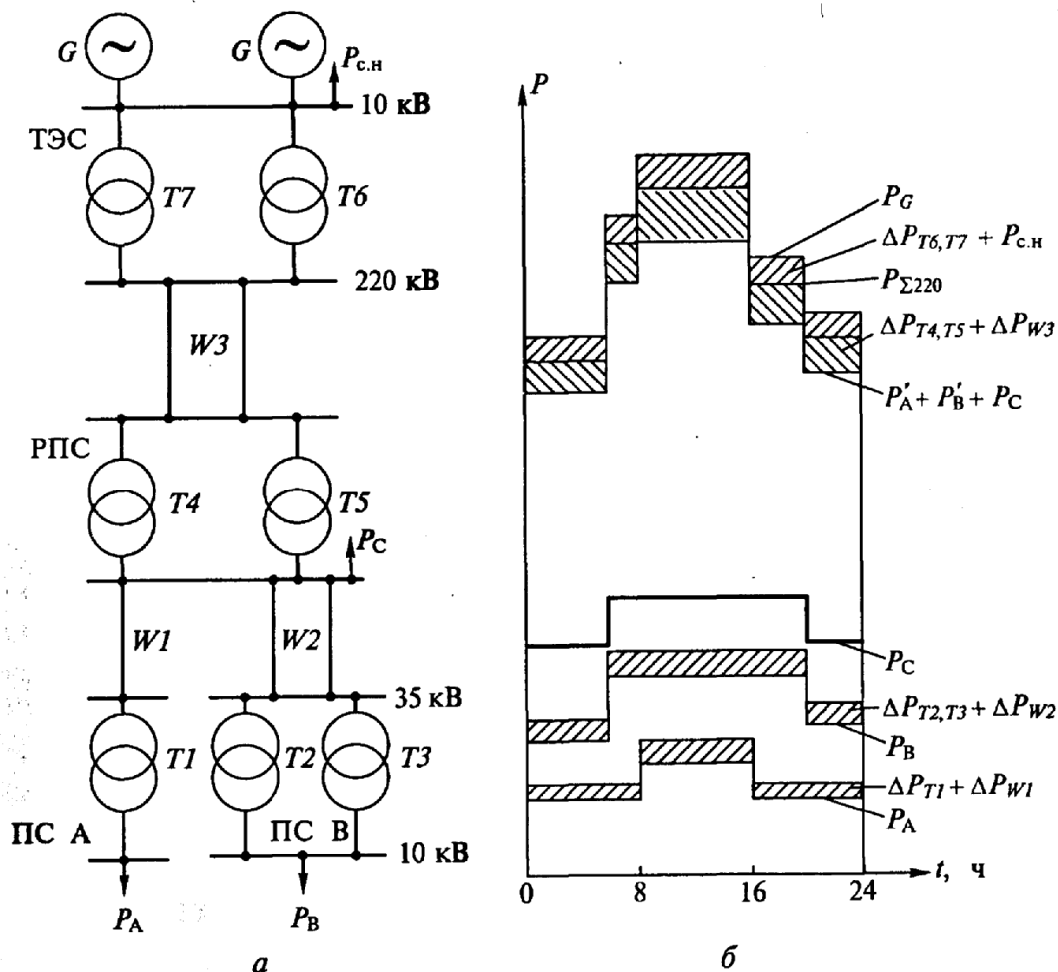
В формулах под  $P_{уст}$  следует понимать суммарную установленную мощность всех агрегатов, включая резервные.

Коэффициент использования  $k_{и}$  характеризует степень использования установленной мощности агрегатов. Очевидно, что  $k_{и} < 1$ , а  $T_{уст} < T$ . С учетом соотношения  $P_{уст} \geq P_{max}$  имеем  $k_{и} \leq k_{3п}$ .

В среднем для энергосистем России продолжительность использования установленной мощности электростанций составляет около 5000 ч в год.

### Суточные графики нагрузки районных подстанций и электростанций

Ранее рассмотрено построение графиков нагрузки потребителей электроэнергии. Зная графики активной и реактивной нагрузок на шинах 6—10 кВ заводских подстанций (ПС А, ПС В), можно определить потери в трансформаторах и линиях для каждой ступени графика. Для наглядности на рис. а показана схема электроснабжения предприятий А, В: заводские ПС А и В получают электроэнергию от районной ПС (РПС), которая линиями 220 кВ связана с электростанцией.



Построение графиков активной нагрузки на шинах районной ПС и электростанции:

а — схема сети; б — графики нагрузок и потерь мощности

Графики активной нагрузки на шинах 6—10 кВ  $P_A$ ,  $P_B$  показаны на рис. б. Подсчитывая потери в трансформаторах Т1, Т2 и Т3 и линиях  $W_1$ ,  $W_2$ , построим график  $(P'_A + P'_B)$  на шинах 35 кВ районной ПС

$$P'_A = P_A + \Delta P_{T1} + \Delta P_{W1}; \quad P'_B = P_B + \Delta P_{T1, T3} + \Delta P_{W2}.$$

На шинах 35 кВ районной ПС имеется нагрузка  $P_C$  (график показан на рис. б), суммируя его ординаты с графиками  $P'_A$  и  $P'_B$ , получим график нагрузки районной ПС на шинах 35 кВ:  $P'_A + P'_B + P_C$ . По данным нагрузкам находят потери в трансформаторах Т4, Т5 и линиях  $W_3$  и строят график мощности, отпускаемой с шин 220 кВ электростанции  $P_{\Sigma 220}$ .

Потери мощности в трансформаторах и линиях находят по известным формулам:

$$\Delta P_n = \sum \Delta P_i^{\text{пост}} + \sum \Delta P_{i \max}^{\text{пер}} \left( \frac{S_i}{S_{i \max}} \right)^2;$$

$$\Delta Q_n = \sum \Delta Q_i^{\text{пост}} + \sum \Delta Q_{i \max}^{\text{пер}} \left( \frac{S_i}{S_{i \max}} \right)^2,$$

где  $S_i$  — нагрузка  $i$ -го элемента сети, соответствующая рассматриваемой  $n$ -й ступени графика суммарной нагрузки;  $S_{i \max}$  — нагрузка элемента (линии, трансформатора), при которой определены  $\Delta P_{\max}^{\text{пер}}$  и  $\Delta Q_{\max}^{\text{пер}}$ .

График нагрузки генераторов получают, суммируя график  $P_{\Sigma 220}$  с графиком расхода электроэнергии на собственные нужды и потерями в трансформаторах Т6, Т7:

$$P_{\text{с.н}} = \left( 0,4 + 0,6 \frac{P_i}{P_{\text{уст}}} \right) P_{\text{с.н. макс}},$$

где  $P_i$  — нагрузка  $i$ -й ступени графика на шинах 10 кВ;  $P_{\text{уст}}$  — установленная мощность генераторов;  $P_{\text{с.н. макс}}$  — максимальный расход на собственные нужды; коэффициенты 0,4 и 0,6 характеризуют постоянную и переменную часть расхода на собственные нужды  $P_{\text{с.н. макс}}$ . Прибавляя к ординатам графика нагрузки на шинах 220 кВ электростанции  $P_{\Sigma 220}$  потери в трансформаторах Т6, Т7 и расход на собственные нужды, получаем график нагрузки на генераторы  $P_G$ .

Для повышения надежности электро- и теплоснабжения потребителей электростанции объединяются на параллельную работу в энергосистемы.

**Энергосистема** — это совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Электрической частью энергосистемы называется совокупность электроустановок электростанций и электрических сетей энергосистемы.

На рис. изображена электрическая схема энергосистемы с четырьмя генерирующими источниками: двумя ТЭЦ, ГЭС и ГРЭС, двумя районными (системными) подстанциями (ПС) А и Б и несколькими потребительскими подстанциями, объединенными на параллельную работу линиями 35, 110, 220 кВ.

Межсистемные связи осуществляются линиями  $W_1$  500 кВ. Местные распределительные сети выполнены на напряжении 6-10 кВ. Подстанция Б с двумя синхронными компенсаторами  $GC$  является узловой подстанцией системы. Подстанция А с двумя автотрансформаторами и линиями 500 кВ является системной подстанцией. Подстанция В — проходная, через шины 110 кВ осуществляются транзит мощности и связь ТЭЦ 1 с ГРЭС. Подстанция Д присоединена отпайками к транзитной линии  $W_{11}$ . Однотрансформаторная ПС Ж включена в кольцо линий 35 кВ.

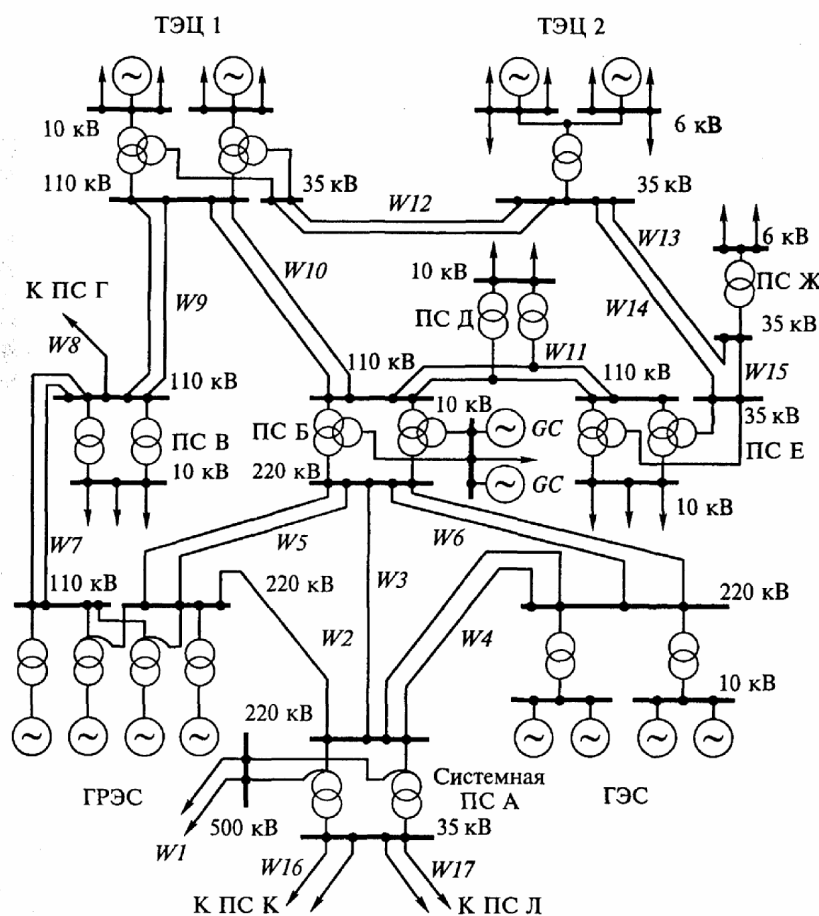


Рис. Принципиальная схема энергосистемы

Создание энергосистем имеет большое значение и дает ряд технических и экономических преимуществ:

позволяет увеличивать темпы развития энергетики и осуществлять это развитие наиболее экономично для современных условий, т. е. за счет преобладающего ввода крупных ТЭС и АЭС с блочными агрегатами большой мощности;

повышает надежность электроснабжения потребителей; обеспечивает повышение экономичности производства и распределения электроэнергии в целом по энергосистеме за счет наиболее рационального распределения нагрузки между электростанциями при наилучшем использовании энергоресурсов (топлива, водной энергии и т.д.);

улучшает качество электроэнергии, т. е. обеспечивает поддержание напряжения и частоты в пределах, нормированных ГОСТ, так как колебания нагрузки воспринимаются большим числом агрегатов;

позволяет снизить суммарный резерв мощности по энергосистеме, который должен составлять 12—20 % общей мощности агрегатов энергосистемы.

Нагрузка энергосистемы в течение суток меняется в зависимости от нагрузки присоединенных потребителей (рис.).

Распределение нагрузок между электростанциями, входящими в систему, должно обеспечить наиболее эффективную работу станций и наименьшие потери от перетоков в сетях. Базовую часть графика ( $P < P_{НГ \min}$ ) покрывают: ГЭС в соответствии с пропуском воды, необходимым по условиям судоходства и санитарным требованиям (во время паводка участие ГЭС в базовой части увеличивают, чтобы не сбрасывать бесполезно воду); АЭС, регулирование мощности которых затруднительно; ТЭЦ, работающие по тепловому графику.

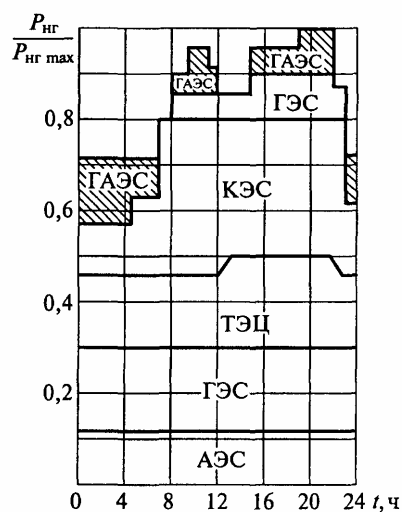


Рис. 1.5. Суточный график нагрузки энергосистемы и графики электростанций, участвующих в выработке электроэнергии

Пиковая часть графика ( $P > P_{нр\ min}$ ) покрывается ГАЭС и ГЭС средней мощности. В провале графика (от 0 до 7 ч) ГАЭС работает в насосном режиме, накапливая воду в напорном водохранилище, а в максимум нагрузки (от 8 до 22 ч) ГАЭС работает в генераторном режиме, покрывая пик нагрузки. Выровненная ГАЭС нагрузка покрывается КЭС, работа которых наиболее экономична при равномерной нагрузке.

Распределение нагрузки системы рассчитывается группой режимов диспетчерского управления.

#### Теплофикационные электростанции теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)

Этот вид электростанций предназначен для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплом. Являясь, как и КЭС, тепловыми электростанциями, они отличаются от последних использованием тепла «отработавшего» в турбинах пара для нужд промышленного производства, а также для отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. При такой комбинированной выработке электроэнергии и тепла достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, т. е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением тепла от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением тепла и электроэнергии. В целом на ТЭЦ производится около 25 % всей электроэнергии, вырабатываемой в РФ.

Особенности технологической схемы ТЭЦ показаны на рис. а.

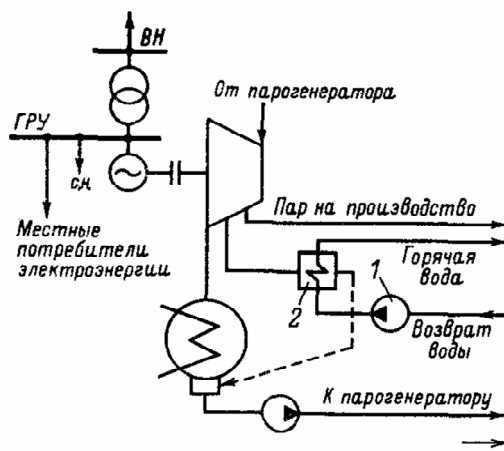


Рис. а. Особенности технологической схемы ТЭЦ:  
1 — сетевой насос; 2 — сетевой подогреватель

Специфика электрической части ТЭЦ определяется расположением электростанции вблизи центров электрических нагрузок. В этих условиях часть мощности может выдаваться в местную сеть непосредственно на генераторном напряжении. С этой целью на электростанции создается обычно генераторное распределительное устройство (ГРУ). Избыток мощности выдается в энергосистему на повышенном напряжении.

Существенной особенностью ТЭЦ является также повышенная мощность теплового оборудования по сравнению с электрической мощностью электростанции. Это обстоятельство предопределяет больший относительный расход электроэнергии на собственные нужды, чем на КЭС.

Размещение ТЭЦ преимущественно в крупных промышленных центрах, повышенная мощность теплового оборудования в сравнении с электрическим повышают требования к защите окружающей среды. Так, для уменьшения выбросов ТЭЦ целесообразно, где это возможно, использовать в первую очередь газообразное или жидкое топливо, а также высококачественные угли.

Размещение основного оборудования станций данного типа, особенно для блочных ТЭЦ, соответствует таковому для КЭС. Особенности имеют лишь те станции, у которых предусматривается большая выдача электроэнергии с генераторного распределительного устройства местному потребителю. В этом случае для ГРУ предусматривается специальное здание, размещаемое вдоль стены машинного зала (рис. б).

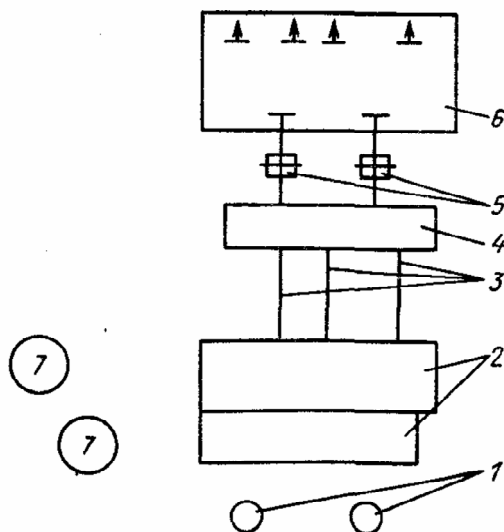


Рис. б. Вариант размещения основного оборудования на площадке ТЭЦ с отдельным зданием ГРУ:

1 — дымовые трубы; 2—главный корпус; 3 — многоамперные токопроводы; 4 — здание ГРУ; 5 — трансформатор связи; 6 — ОРУ; 7 градири (склад топлива для ТЭЦ не показан).

На современных электростанциях применяют синхронные генераторы трехфазного переменного тока. Первичными двигателями для них являются паровые турбины или гидротурбины. В первом случае это турбогенератор, а во втором — гидрогенератор.

Паровые турбины, являющиеся первичными двигателями, наиболее экономичны при высоких скоростях, но здесь конструкторов ограничивает строгая связь для синхронных генераторов:

$$n = \frac{60f}{p},$$

где  $f$  — частота сети,  $p$  — число пар полюсов генератора. При принятой стандартной частоте 50 Гц и наименьшем возможном числе пар полюсов  $p=1$  наибольшее число оборотов определяется так:

$$n = 60 \cdot 50 / 1 = 3000 \text{ об/мин.}$$

Большинство турбогенераторов быстроходные, т.е. имеют максимальное число оборотов 3000. Если бы наши электроустановки были рассчитаны на частоту 60 Гц, то номинальное число оборотов соответственно увеличилось бы до 3600.

Генераторы небольших мощностей, соединенные с дизелями и другими поршневыми машинами, изготавливаются на 750 - 1500 об/мин.

Номинальный (нормальный) режим работы генераторов — это длительно допустимый режим с параметрами, указанными в паспорте генератора.

Номинальное напряжение — это междуфазное напряжение обмотки статора в номинальном режиме. Согласно ГОСТ 533—85 установлена следующая шкала стандартных напряжений: 3,15; 6,3; 10,5; (13,8); (15,75); (18); 20 и 24 кВ.

Допускается работа генератора с номинальной мощностью при отклонении напряжения 5 %. Длительно допустимое в эксплуатации напряжение не должно превышать 110% номинального, но при том ток ротора не должен превышать номинального значения.

Номинальная активная мощность генератора, МВт,

$$P_{\text{ном}} = \sqrt{3}U_{\text{ном}}I_{\text{ном}} \cos \varphi,$$

полная мощность, МВ А,

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3}U_{\text{ном}}I_{\text{ном}},$$

где  $U_{\text{ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$  - номинальные напряжение и ток;  $\cos \varphi$  — номинальный коэффициент мощности.

Согласно ГОСТ 533—85 принята шкала номинальных мощностей турбогенераторов: 2,5; 4; 6; 12; 32; 63; 110; 160; 220; 320; 500; 800; 1000; 1200; 1600; 2000 МВт.

Номинальный сор принят равным: 0,8 — для генераторов до 100 МВт; 0,85 — для турбогенераторов до 500 МВт и гидрогенераторов до 300 МВт; 0,9 — для более мощных генераторов.

Обмотка ротора синхронного генератора питается постоянным током, который создает магнитный поток возбуждения. Обмотка ротора, источник постоянного тока, устройства регулирования и коммутации составляют систему возбуждения генератора.

Системы возбуждения должны:

обеспечивать надежное питание обмотки ротора в нормальных и аварийных режимах;

допускать регулирование напряжения возбуждения в достаточных пределах;

обеспечивать быстродействующее регулирование возбуждения с высокими кратностями форсирования в аварийных режимах;

осуществлять быстрое развозбуждение и в случае необходимости производить гашение поля в аварийных режимах.

Важнейшими характеристиками систем возбуждения являются:

быстродействие, определяемое скоростью нарастания напряжения на обмотке ротора при форсировке и отношение потолочного напряжения к номинальному напряжению возбуждения (так называемая кратность форсировки).

В зависимости от источника питания системы возбуждения разделяются на системы независимого возбуждения и самовозбуждения.

Широкое распространение также получила система возбуждения с машинным возбудителем 50 Гц и статическими выпрямителями (статическая тиристорная система независимого возбуждения), а также бесщеточная система возбуждения.

Простейшим устройством регулирования напряжения является схема форсировки возбуждения, которая широко применялась в свое время на генераторах, имеющих электромашинное возбуждение.

Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) устанавливается на всех генераторах мощностью 3 МВт и более.

### ***Режимы работы генераторов***

Параллельная работа генераторов. Как правило, генераторы включаются в сеть способом точной синхронизации при введенной блокировке от несинхронного включения.

При ликвидации аварий в энергосистеме турбогенераторы мощностью до 220 МВт включительно и все гидрогенераторы разрешается включать на параллельную работу способом самосинхронизации. Генераторы большей мощности разрешается включать этим способом, если  $\frac{I_{п0}}{I_{НОМ}} \geq 3$ , где  $I_{п0}$  — периодическая составляющая тока при включении.

При точной синхронизации соблюдаются условия:

напряжение на выводах генератора должно быть равно напряжению сети;

частота включаемого генератора должна быть равна частоте сети;

включение должно произойти в момент совпадения фаз генератора и сети.

Для соблюдения этих условий на регуляторы напряжения и скорости генераторов воздействуют вручную или автоматически.

Недостатком этого метода является сложность процесса включения и его длительность.

При самосинхронизации синхронный генератор разворачивают до частоты вращения, близкой к синхронной, и возбужденным включают в сеть. При этом обмотка возбуждения замыкается на разрядный резистор, используемый для гашения поля, либо на специально предусмотренный для этой цели резистор. После включения генератора в сеть подается импульс на включение АГП, и генератор возбуждается.

При включении генератора в нем возникает ток

$$I_{п0} = \frac{U_c}{x'_d + x_{сис}},$$

где  $U_c$  — напряжение сети;  $x'_d$  — переходное сопротивление генератора;  $x_{сис}$  — сопротивление системы.

Этот ток меньше тока КЗ на выводах генератора, тем не менее, возникающие электродинамические силы воздействуют на обмотки генератора и его конструктивные части. Возникающий асинхронный момент воздействует на ротор, и машина втягивается в синхронизм за 2—3 с.

Преимущества метода самосинхронизации:

значительное упрощение операции включения;

быстрое включение генератора в сеть, что очень важно при аварии в системе;

возможность включения во время снижения напряжения и частоты сети;

отсутствие опасности повреждения машины.

Недостатком метода самосинхронизации является значительная посадка напряжения на шинах генераторного напряжения в момент включения, поэтому этот способ синхронизации не рекомендуется для электростанций с общими сборными шинами генераторного напряжения.

Номинальный режим работы генератора характеризуется номинальными параметрами: активной нагрузкой  $P_{НОМ}$ , напряжением  $U_{НОМ}$ , коэффициентом мощности  $\cos\varphi$ , частотой  $f$ , температурой охлаждающей среды на входе. Работа с номинальными параметрами может продолжаться как угодно длительно.

В реальных условиях нагрузка генератора меняется, а это влечет за собой изменение частоты, напряжения и других параметров. Если эти отклонения не превышают допустимых требований по Правилам технической эксплуатации (ПТЭ), то режим считается нормальным.

Перегрузка генераторов по току статора допускается кратковременно при авариях в энергосистеме. Величина допустимой перегрузки зависит от длительности и типа охлаждения статора. Допустимая перегрузка по току возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов с косвенным охлаждением обмоток определяется допустимой перегрузкой статора.

Асинхронный режим может возникнуть при несинхронном вращении одного или нескольких генераторов, появляющемся при потере возбуждения или нарушении устойчивости работы генераторов.



При потере возбуждения генератор переходит из синхронного в устойчивый асинхронный режим с постоянным скольжением и отдачей некоторой активной мощности в систему. При этом возбуждение осуществляется за счет потребления реактивной мощности из системы. В этом случае необходимо восстановить возбуждение генератора или перейти на резервное возбуждение.

Для гидрогенераторов работа в асинхронном режиме без возбуждения запрещается.

Во втором случае при нарушении устойчивости параллельной работы одного или нескольких генераторов возбуждение сохраняется, но нарушается синхронизм работы, возникает переменное скольжение, машины работают то в двигательном, то в генераторном режиме. Это является тяжелой аварией и может привести к полному распаду системы. Такой режим согласно требованиям ПТЭ запрещается.

Несимметричные режимы работы генераторов могут быть вызваны обрывом или отключением одной фазы, однофазной нагрузкой (электротяга, плавильные печи и др.). При несимметричной нагрузке возникают токи обратной последовательности, которые создают дополнительный нагрев обмоток и вибрацию машин. Такой режим допускается длительно, если несимметричные нагрузки по фазам не превышают 15—20 % для гидрогенераторов с косвенным охлаждением, 10% для гидрогенераторов с непосредственной системой охлаждения и для турбогенераторов всех типов.

### ***Силовые трансформаторы и их параметры***

Силовые трансформаторы предназначены для преобразования электроэнергии переменного тока с одного напряжения на другое. Наибольшее распространение получили трехфазные трансформаторы, так как потери в них на 12—15 % ниже, а расход активных материалов и стоимость на 20—25 % меньше, чем в группе трех однофазных трансформаторов такой же суммарной мощности.

Предельная единичная мощность трансформаторов ограничивается массой, размерами, условиями транспортировки.

Трехфазные трансформаторы на напряжение 220 кВ изготавливают мощностью до 1000 МВ на 330 кВ — 1250 МВА, на 500 кВ — 1000 МВА.

Однофазные трансформаторы применяются, если невозможно изготовление трехфазных трансформаторов необходимой мощности или затруднена их транспортировка. Наибольшая мощность группы однофазных трансформаторов напряжением 500 кВ составляет 3х533 МВА, напряжением 750 кВ — 3х417 МВА, напряжением 1150 кВ — 3х667 МВА.

По количеству обмоток различного напряжения на каждую фазу трансформаторы разделяются на двухобмоточные и трехобмоточные. Кроме того, обмотки одного и того же напряжения, обычно низшего, могут состоять из двух и более параллельных ветвей, изолированных друг от друга и от заземленных частей. Такие трансформаторы называют трансформаторами с расщепленными обмотками. Обмотки высшего, среднего и низшего напряжения принято сокращенно обозначать соответственно ВН, СН, НН.

Трансформаторы с расщепленными обмотками НН обеспечивают возможность присоединения нескольких генераторов к одному повышающему трансформатору. Такие укрупненные энергоблоки позволяют упростить схему распределительного устройства (РУ) 330—500 кВ. Трансформаторы с расщепленной обмоткой НН получили широкое распространение в схемах питания собственных нужд крупных ТЭС с блоками 200—1200 МВт, а также на понижающих подстанциях с целью ограничения токов КЗ.

К основным параметрам трансформатора относятся: номинальные мощность, напряжение, ток; напряжение КЗ; ток холостого хода; потери холостого хода и КЗ.

*Номинальной мощностью трансформатора называется указанное в заводском паспорте значение полной мощности, на которую непрерывно может быть нагружен трансформатор в номинальных условиях места установки и охлаждающей среды при номинальных частоте и напряжении.*

Номинальная мощность для двухобмоточного трансформатора — это мощность каждой из его обмоток. Трехобмоточные трансформаторы могут быть выполнены с обмотками как одинаковой, так и разной мощности. В последнем случае за номинальную принимается наибольшая из номинальных мощностей отдельных обмоток трансформатора.

За номинальную мощность автотрансформатора принимается номинальная мощность каждой из сторон, имеющих между собой автотрансформаторную связь («проходная мощность»).

Номинальные напряжения обмоток — это напряжения первичной и вторичной обмоток при холостом ходе трансформатора. Для трехфазного трансформатора — это его линейное (междуфазное) напряжение. Для однофазного трансформатора, предназначенного для включения в трехфазную группу, соединенную в звезду, — это  $U/\sqrt{3}$ . При работе трансформатора под нагрузкой и подведении к зажимам его первичной обмотки номинального напряжения на вторичной обмотке напряжение меньше номинального на величину потери напряжения в трансформаторе. Коэффициент трансформации трансформатора  $n$  определяется отношением номинальных напряжений обмоток высшего и низшего напряжений. В трехобмоточных трансформаторах определяется коэффициент трансформации каждой пары обмоток: ВН и НН; ВН и СН; СН и НН.

Номинальными токами трансформатора называются указанные в заводском паспорте значения токов в обмотках, при которых допускается длительная нормальная работа трансформатора. Номинальный ток любой обмотки трансформатора определяют по ее номинальной мощности и номинальному напряжению.

Напряжение короткого замыкания — это напряжение, при подведении которого к одной из обмоток трансформатора при замкнутой накоротко другой обмотке в ней проходит ток, равный номинальному.

Ток холостого хода характеризует активные и реактивные потери в стали и зависит от магнитных свойств стали, конструкции и качества сборки магнитопровода и от магнитной индукции. Ток холостого хода выражается в процентах номинального тока трансформатора.

Потери холостого хода и короткого замыкания определяют экономичность работы трансформатора. Потери холостого хода состоят из потерь в стали на перемагничивание и вихревые токи.

Потери короткого замыкания состоят из потерь в обмотках при протекании по ним токов нагрузки и добавочных потерь в обмотках и конструкциях трансформатора. Добавочные потери вызваны магнитными полями рассеяния, создающими вихревые токи в крайних нитках обмотки и конструкциях трансформатора (стенки бака, ярмовые балки и др.). Чем меньше мощность трансформатора, тем больше относительные потери в нем.

В сетях энергосистем установлено большое количество трансформаторов малой и средней мощности, поэтому общие потери электроэнергии во всех трансформаторах страны значительны и очень важно для экономии электроэнергии совершенствовать конструкции трансформаторов с целью дальнейшего уменьшения значений потерь.

#### *Нагрузочная способность силовых трансформаторов*

При выборе мощности трансформаторов нельзя руководствоваться только их номинальной мощностью, так как в реальных условиях температура охлаждающей среды, условия установки трансформатора могут быть отличными от принятых. Нагрузка трансформатора меняется в течение суток, и если мощность выбрать по максимальной нагрузке, то в периоды ее спада трансформатор будет не загружен, т. е. недоиспользована его мощность. Опыт эксплуатации показывает, что трансформатор может работать часть суток с перегрузкой, если в другую часть его нагрузка меньше номинальной. Критерием различных режимов является износ изоляции трансформатора.

Нагрузочная способность трансформатора — это совокупность допустимых нагрузок и перегрузок.

Допустимая нагрузка — это длительная нагрузка, при которой расчетный износ изоляции обмоток от нагрева не превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы.

Перегрузка трансформатора — режим, при котором расчетный износ изоляции обмоток превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы. Такой режим возникает, если нагрузка окажется больше номинальной мощности трансформатора или температура охлаждающей среды больше принятой расчетной.

Допустимые систематические нагрузки трансформатора больше его номинальной мощности возможны за счет неравномерности нагрузки в течение суток. На рис. изображен суточный график нагрузки, из которого видно, что в ночные, утренние и дневные часы трансформатор недогружен, а во время вечернего максимума перегружен.

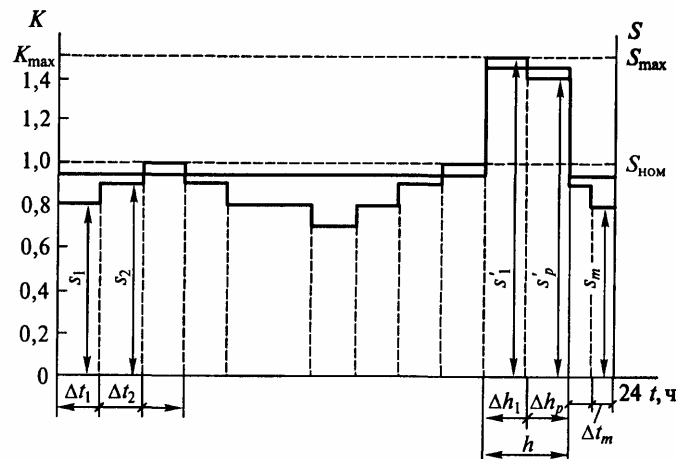


Рис. Построение двухступенчатого графика по суточному графику нагрузки трансформатора

При недогрузке износ изоляции мал, а во время перегрузки значительно увеличивается. Максимально допустимая систематическая нагрузка определяется при условии, что наибольшая температура обмотки  $140^{\circ}\text{C}$ , наибольшая температура масла в верхних слоях  $95^{\circ}\text{C}$  и износ изоляции за время максимальной нагрузки такой же, как при работе трансформатора при постоянной номинальной нагрузке, когда температура наиболее нагретой точки не превышает  $98^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 14209—85). Для подсчета допустимой систематической нагрузки действительный график преобразуется в двухступенчатый (см. рис.).

Коэффициент начальной нагрузки эквивалентного графика определяется по выражению

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{s_1^2 \Delta t_1 + s_2^2 \Delta t_2 + \dots + s_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}},$$

где  $S_1, S_2, S_m$  - значения нагрузки в интервалах  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_m$ .

Коэффициент максимальной нагрузки в интервале  $h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p$

$$K_2' = \frac{1}{S_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{(s_1')^2 \Delta h_1 + (s_2')^2 \Delta h_2 + \dots + (s_p')^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}.$$

Если  $K_2' \geq 0,9 K_{\text{max}}$ , то принимают  $K_2' \geq K_2$ , если  $K_2' < 0,9 K_{\text{max}}$ , то принимают  $K_2 = 0,9 K_{\text{max}}$ .

Зная среднюю температуру охлаждающей среды за время действия графика систему охлаждения трансформатора (М, Д, ДЦ, Ц), по таблицам, приведенным в ГОСТ 14209—85 (для трансформатора до 100 МВА), определяют допустимость относительной нагрузки  $K_2$  и ее продолжительность.

Нагрузка более 1,5 номинальной, должна быть согласована с заводом-изготовителем. Нагрузка более 2 номинальной, не допускается.

Аварийная перегрузка разрешается в аварийных случаях, например при выходе из строя параллельно включенного трансформатора.

Допустимая аварийная перегрузка определяется предельно допустимыми температурами обмотки (140°C для трансформаторов напряжением выше 110 кВ и 160°C для остальных трансформаторов) и температурой масла в верхних слоях (115°C).

Аварийные перегрузки вызывают повышенный износ витковой изоляции, что может привести к сокращению нормированного срока службы трансформатора, если повышенный износ впоследствии не компенсирован нагрузкой с износом изоляции ниже нормального.

Анализируя приведенные в ГОСТ 14209—85 таблицы допустимых перегрузок, можно сделать вывод, что трансформаторы с системами охлаждения М, Д, ДЦ и Ц при первоначальной нагрузке допускают перегрузку на 40% в течение 6 ч при температуре охлаждающего воздуха не более 20 °С.

### ***Синхронные и статические компенсаторы***

Потребители электрической энергии, кроме активной мощности, потребляют от генераторов системы реактивную мощность, которая затрачивается на создание магнитных полей, необходимых для работы асинхронных двигателей, индукционных печей, трансформаторов и других электроприемников.

На создание реактивной мощности топливо практически не расходуется. Однако передача реактивной мощности от генераторов к потребителям связана с дополнительными потерями (мощности и напряжения) в трансформаторах и сетях. Потери активной энергии в сетях оплачиваются потребителями, что ложится на них немалым бременем. Потери напряжения приводят к снижению качества энергии, получаемой электроприемниками. Поэтому для получения реактивной мощности экономически выгодно устанавливать источники реактивной мощности вблизи потребителей. Такими источниками являются синхронные и статические компенсаторы.

### ***Синхронные компенсаторы***

Синхронный компенсатор (СК) - это синхронная машина, работающая в двигательном режиме без нагрузки на валу при изменяющемся токе возбуждения.

В перевозбужденном режиме ЭДС обмотки статора больше напряжения сети. Под действием разности напряжений в статоре СК возникает ток, отстающий от вектора напряжения на 90°. Компенсатор в этом режиме отдает реактивную мощность в сеть. В недо возбужденном режиме ЭДС меньше напряжения сети, в статоре СК возникает ток, опережающий вектор напряжения на 90°, т.е. СК будет потреблять реактивную мощность из сети. Синхронные компенсаторы не несут активной нагрузки на валу, поэтому их конструкция облегчена. Компенсаторы выполняются тихоходными (750— 1000 об/мин) с горизонтальным валом и явнополюсным ротором.

Синхронный компенсатор характеризуется номинальной мощностью, напряжением, током статора, частотой и номинальным током ротора. Шкала мощностей определяется по ГОСТ 609—84. Номинальное напряжение синхронного компенсатора на 5—10 % выше номинального напряжения сети.

В зависимости от тока возбуждения синхронный компенсатор может работать в режимах перевозбуждения и недо возбуждения, генерировать или потреблять реактивную мощность. Регулирование тока возбуждения осуществляется специальными схемами АРВ.

Синхронные генераторы могут работать в режиме синхронного компенсатора, если закрыть доступ пара (или воды) в турбину. В таком режиме перевозбужденный турбогенератор начинает потреблять небольшую активную мощность из сети и отдает реактивную мощность в сеть.

Перевод гидрогенераторов в режим синхронных компенсаторов производится без остановки агрегатов, достаточно освободить камеру гидротурбины от воды.

### *Статические компенсаторы*

Статические компенсаторы — это батареи конденсаторов и другие источники реактивной мощности (ИРМ), не имеющие вращающихся частей.

На подстанциях промышленных предприятий вблизи потребителей реактивной мощности устанавливаются батареи статических конденсаторов (БК). Конденсаторы могут быть масляными или соволовыми на напряжение от 220 В до 10,5 кВ для наружной и внутренней установки. Единичная мощность конденсаторов от 10 до 125 квар, для получения необходимой мощности конденсаторы соединяются параллельно. В энергосистемах БК на напряжение 6 и 10 кВ устанавливаются в узлах сети, на подстанциях подключаются (через выключатель) к шинам 6 и 10 кВ.

Если к сети подключено одно и то же число банок конденсаторов (нерегулируемая БК), то в режиме минимальных нагрузок возможна перекомпенсация реактивной мощности, которая вызовет повышение напряжения и дополнительные потери в сети. Это приводит к необходимости регулирования количества включенных банок конденсаторов. Такое регулирование может быть одно- и многоступенчатым, когда БК разделена на секции. Включение и отключение части секций производится автоматически или вручную.

Достоинствами БК являются их простота, а недостатками — зависимость реактивной мощности от напряжения, невозможность потребления реактивной мощности, ступенчатое регулирование.

Более совершенными являются установки статических тиристорных компенсаторов, в которых осуществляется плавное регулирование тока. В установке применены нерегулируемые емкости (БК), которые вырабатывают реактивную мощность (емкостную), и регулируемая с помощью тиристорных ключей индуктивность. Управляющие электроды тиристоров присоединены к схеме автоматического регулирования. Достоинствами этой установки являются отсутствие вращающихся частей, быстрое действие и плавность регулирования.

Совершенствование тиристоров и уменьшение их стоимости приведет к тому, что ИРМ будет целесообразнее, чем синхронные компенсаторы.

Асинхронизированные турбогенераторы ТАП-110, АСТГ-200, ТЗВА-320 могут применяться в качестве управляемого ИРМ при соответствующем регулировании тока возбуждения.

### *Общие сведения о схемах электроустановок*

Главная схема электрических соединений электростанции (подстанции) — это совокупность основного электрооборудования (генераторы, трансформаторы, линии), сборных шин, коммутационной и другой первичной аппаратуры со всеми выполненными между ними в натуре соединениями.

Выбор главной схемы является определяющим при проектировании электрической части электростанции (подстанции), так как он определяет полный состав элементов и связей между ними. Выбранная главная схема является исходной при составлении принципиальных схем электрических соединений, схем собственных нужд, схем вторичных соединений, монтажных схем и т.д.

На чертеже главные схемы изображаются в однолинейном исполнении при отключенном положении всех элементов установки. В некоторых случаях допускается изображать отдельные элементы схемы в рабочем положении.

Все элементы схемы и связи между ними изображаются в соответствии со стандартами единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

В условиях эксплуатации наряду с принципиальной, главной схемой, применяются упрощенные оперативные схемы, в которых указывается только основное оборудование. Дежурный персонал каждой смены заполняет оперативную схему и вносит в нее необходимые изменения в части положения выключателей и разъединителей, происходящие во время дежурства.

При проектировании электроустановки до разработки главной схемы составляется структурная схема выдачи электроэнергии (мощности), на которой показываются основные функциональные части электроустановки (распределительные устройства, трансформаторы, генераторы) и связи между ними. Структурные схемы служат для дальнейшей разработки более подробных и полных принципиальных схем, а также для общего ознакомления с работой электроустановки.

При выборе схем электроустановок должны учитываться следующие факторы:

- значение и роль электростанции или подстанции для энергосистемы. Электростанции, работающие параллельно в энергосистеме, существенно различаются по своему назначению. Одни из них, базисные, несут основную нагрузку, другие, пиковые, работают неполные сутки во время максимальных нагрузок, третьи несут электрическую нагрузку, определяемую их тепловыми потребителями (ТЭЦ). Разное назначение электростанций определяет целесообразность применения разных схем электрических соединений даже в том случае, когда количество присоединений одно и то же. Подстанции могут предназначаться для питания отдельных потребителей или крупного района, для связи частей энергосистемы или различных энергосистем. Роль подстанций определяет ее схему.

- положение электростанции или подстанции в энергосистеме, схемы и напряжения прилегающих сетей. Шины высшего напряжения электростанций и подстанций могут быть узловыми точками энергосистемы, осуществляя объединение на параллельную работу нескольких электростанций. В этом случае через шины происходит переток мощности из одной части энергосистемы в другую — транзит мощности. При выборе схем таких электроустановок в первую очередь учитывается необходимость сохранения транзита мощности. Подстанции могут быть тупиковыми, проходными, отпаечными; схемы таких подстанций будут различными даже при одном и том же числе трансформаторов одинаковой мощности.

- схемы распределительных устройств 6—10 кВ зависят от схем электроснабжения потребителей: питания по одиночным или параллельным линиям, наличия резервных вводов у потребителей и т. п.

- перспектива расширения и промежуточные этапы развития электростанции, подстанции и прилегающего участка сети. Схема и компоновка распределительного устройства должны выбираться с учетом возможного увеличения количества присоединений при развитии энергосистемы. Поскольку строительство крупных электростанций ведется очередями, то при выборе схемы электроустановки учитывается количество агрегатов и линий, вводимых в первую, вторую, третью очереди и при окончательном ее развитии. Для выбора схемы важно учесть количество линий высшего и среднего напряжения, степень их ответственности, поэтому на различных этапах развития энергосистемы схема может быть разной. Поэтапное развитие схемы распределительного устройства электростанции или подстанции не должно сопровождаться коренными переделками. Это возможно лишь в том случае, когда при выборе схемы учитываются перспективы ее развития. При выборе схем электроустановок учитывается допустимый уровень токов КЗ. При необходимости решаются вопросы секционирования сетей, деления электроустановки на независимо работающие части, установки специальных токоограничивающих устройств.

Из сложного комплекса предъявляемых условий, влияющих на выбор главной схемы электроустановки, можно выделить основные требования к схемам:

- надежность электроснабжения потребителей;

- приспособленность к проведению ремонтных работ; оперативная гибкость электрической схемы;

- экономическая целесообразность.

Надежность — свойство электроустановки, участка электрической сети или энергосистемы в целом обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей электроэнергией нормировано. Повреждение оборудования в любой части схемы по возможности не должно нарушать электроснабжение, выдачу электроэнергии в

энергосистему, транзит мощности через шины. Надежность схемы должна соответствовать характеру (категории) потребителей, получающих питание от данной электроустановки.

Надежность можно оценить частотой и продолжительностью нарушения электроснабжения потребителей и относительным аварийным резервом, который необходим для обеспечения заданного уровня безаварийной работы энергосистемы и ее отдельных узлов.

Приспособленность электроустановки к проведению ремонтов определяется возможностью проведения ремонтов без нарушения или ограничения электроснабжения потребителей. Есть схемы, в которых для ремонта выключателя надо отключать данное присоединение на все время ремонта; в других схемах требуется лишь временное отключение отдельных присоединений для создания специальной ремонтной схемы; в третьих — ремонт выключателя производится без нарушения электроснабжения даже на короткий срок. Таким образом, приспособленность для проведения ремонтов рассматриваемой схемы можно оценить количественно частотой и средней продолжительностью отключений потребителей и источников питания для ремонтов оборудования.

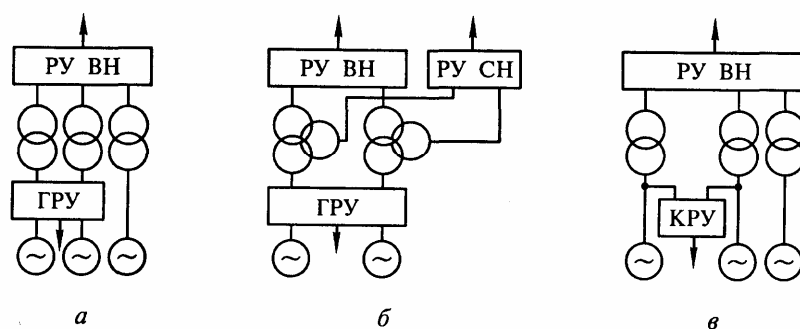
Оперативная гибкость электрической схемы определяется ее приспособленностью для создания необходимых эксплуатационных режимов и проведения оперативных переключений. Наибольшая оперативная гибкость схемы обеспечивается, если оперативные переключения в ней производятся выключателями или другими коммутационными аппаратами с дистанционным приводом. Если все операции осуществляются дистанционно, а еще лучше средствами автоматики, то ликвидация аварийного состояния значительно ускоряется. Оперативная гибкость оценивается количеством, сложностью и продолжительностью оперативных переключений.

Экономическая целесообразность схемы оценивается приведенными затратами, включающими в себя затраты на сооружение установки — капиталовложения, ее эксплуатацию и возможный ущерб от нарушения электроснабжения. Подробно методика подсчета приведенных затрат изложена ниже.

#### *Структурные схемы электростанций и подстанций*

Структурная электрическая схема зависит от состава оборудования (числа генераторов, трансформаторов), распределения генераторов и нагрузки между распределительными устройствами разного напряжения и связи между этими РУ.

На рис. показаны структурные схемы ТЭЦ.



Если ТЭЦ сооружается вблизи потребителей электроэнергии 6—10 кВ, то необходимо иметь распределительное устройство генераторного напряжения (ГРУ). Количество генераторов, присоединяемых к ГРУ, зависит от нагрузки 6—10 кВ. На рис. а два генератора присоединены к ГРУ, а один, как правило, более мощный, — к распределительному устройству высокого напряжения (РУ ВН). Линии 110—220 кВ, присоединенные к этому РУ, осуществляют связь с энергосистемой.

Если вблизи ТЭЦ предусматривается сооружение энергоемких производств, то питание их может осуществляться по ВЛ 35—110 кВ. В этом случае на ТЭЦ предусматривается распределительное устройство среднего напряжения (РУ СН) (см. рис. б).

Связь между РУ разного напряжения осуществляется с помощью трехобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов.

При незначительной нагрузке (6—10 кВ) целесообразно блочное соединение генераторов с повышающими трансформаторами без поперечной связи на генераторном напряжении, что уменьшает токи КЗ и позволяет вместо дорогостоящего ГРУ применить комплектное РУ для присоединения потребителей 6—10 кВ (см. рис. в). Мощные энергоблоки 100—250 МВт присоединяются к РУ ВН без отпайки для питания потребителей.

#### *Выбор числа и мощности трансформаторов связи на ТЭЦ*

На электростанциях, имеющих шины генераторного напряжения, предусматривается установка трансформаторов для связи этих шин с шинами повышенного напряжения. Такая связь необходима для выдачи избыточной мощности в энергосистему в нормальном режиме, когда работают все генераторы, и для резервирования питания нагрузок на напряжении 6-10 кВ при плановом или аварийном отключении одного генератора.

Число трансформаторов связи обычно не превышает двух и выбирается из следующих соображений. При трех или более секциях сборных шин ГРУ устанавливаются два трансформатора связи. Это позволяет создать симметричную схему и уменьшить перетоки мощности между секциями при отключении одного генератора. При выдаче в энергосистему от ТЭЦ значительной мощности, соизмеримой с мощностью вращающегося резерва энергосистемы (10-12% общей установленной мощности энергосистемы), также необходима установка двух трансформаторов. В этом случае обеспечивается надежная выдача избыточной мощности в энергосистему.

В остальных случаях, когда ГРУ состоит из одной (двух) секций и выдаваемая в энергосистему мощность невелика, допустима установка одного трансформатора связи. Один трансформатор связи ГРУ с РУ высокого напряжения также может быть установлен, если на ТЭЦ один или два генератора, например для первой очереди станции.

Трансформаторы связи должны обеспечить выдачу в энергосистему всей активной и реактивной мощности генераторов за вычетом нагрузок собственных нужд и нагрузок распределительного устройства генераторного напряжения в период минимума нагрузки, а также выдачу в сеть активной мощности, вырабатываемой по тепловому графику в нерабочие дни.

Мощность трансформаторов связи выбирается с учетом возможности питания потребителей в летний период, когда при снижении тепловых нагрузок может потребоваться остановка теплофикационных агрегатов. Также учитывается необходимость резервирования питания нагрузок в период максимума при выходе из строя наиболее мощного генератора, присоединенного к ГРУ.

Мощность, передаваемая через трансформатор, определяется с учетом различных значений  $\cos \varphi$  генераторов, нагрузки и потребителей собственных нужд:

$$S_{расч} = \sqrt{(\Sigma P_G - P_n - P_{CH})^2 + (\Sigma Q_G - Q_n - Q_{CH})^2},$$

где  $\Sigma P_G, \Sigma Q_G$  – активная суммарная и реактивная мощность генераторов, присоединенных к сборным шинам;

$\Sigma P_n, \Sigma Q_n$  – активная и реактивная нагрузка на генераторном напряжении;

$\Sigma P_{CH}, \Sigma Q_{CH}$  – активная и реактивная нагрузка для собственных нужд.

Передаваемая через трансформатор связи мощность изменяется в зависимости от режима работы генераторов и графика нагрузки потребителей.

Эту мощность можно определить на основании суточного графика выработки мощности генераторами и графиков нагрузки потребителей и собственных нужд ТЭЦ. При отсутствии таких графиков определяют мощность, передаваемую через трансформатор, в трех режимах: минимальных нагрузок  $P_{n,min}, Q_{n,min}$  находят  $S_{Iрасч}$ , максимальных нагрузок



$P_{n,max}, Q_{n,max}$  находят  $S_{2расч}$  и в аварийном режиме, при отключении самого мощного генератора (изменяется величина  $\Sigma P_G, \Sigma Q_G$ ), находят  $S_{3расч}$ .

По наибольшей расчетной нагрузке определяется мощность трансформаторов связи. При установке двух трансформаторов

$$S_T \geq \frac{S_{расч,max}}{K_n},$$

где  $K_n$  – коэффициент допустимой перегрузки трансформатора.

Как было отмечено выше, трансформаторы связи могут работать как повышающие в режиме выдачи мощности в энергосистему и как понижающие при передаче мощности из энергосистемы. Реверсивная работа вызывает необходимость применения трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой.

На рис. приведена схема выдачи электроэнергии ТЭЦ, где условно показаны сборные шины генераторного и высшего напряжения.

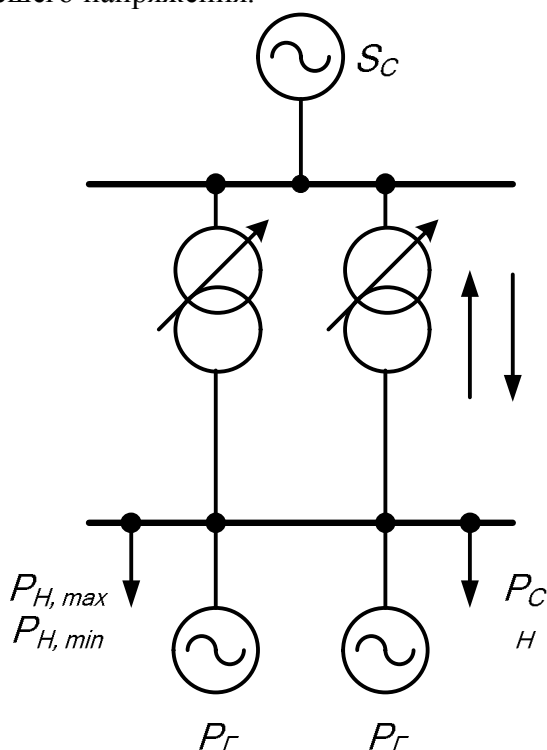


Рис. Схема выдачи электроэнергии ТЭЦ

Трансформаторы могут быть трехобмоточными, если на ТЭЦ кроме нагрузок 6-10 кВ имеются нагрузки на 35 кВ, составляющие не менее 15% общей нагрузки трансформатора, а связь с энергосистемой осуществляется на напряжении 110 кВ.

При нагрузке на 35 кВ менее 15 % устанавливаются двухобмоточные трансформаторы 35/6-10 кВ.

Выбор трансформаторов производится по загрузке обмоток низшего напряжения, которая определяется в трех указанных выше режимах.

На ТЭЦ с блочным соединением генераторов мощность блочного трансформатора выбирается по расчетной мощности:

$$S_{расч} = \sqrt{(P_G - P_n - P_{C,H})^2 + (Q_G - Q_n - Q_{C,H})^2},$$

где  $P_H$  - нагрузка, присоединенная к ответвлению от энергоблока.

Если нагрузка присоединена к двум энергоблокам, при определении  $S_{расч}$  следует принять  $P_H/2$ .

Если от энергоблока получают питание только собственные нужды, то

$$S_{расч} = \sqrt{(P_G - P_{с,н})^2 + (Q_G - Q_{с,н})^2}.$$

Для каждого сочетания напряжений устанавливается, как правило, два трехобмоточных трансформатора или автотрансформатора.

При выборе мощности автотрансформаторов, к обмотке НИ которых присоединены синхронные компенсаторы, необходимо проверить загрузку общей обмотки автотрансформатора.

Трансформаторы и автотрансформаторы с ВИ до 500 кВ включительно по возможности выбираются трехфазными.

Группы из однофазных трансформаторов устанавливаются при отсутствии трехфазных трансформаторов соответствующей мощности. При установке одной группы однофазных трансформаторов предусматривается одна резервная фаза. В ряде случаев может оказаться экономичнее применить спаренные трехфазные трансформаторы (автотрансформаторы).

### *Главные схемы ТЭЦ*

#### Схемы ТЭЦ со сборными шинами генераторного напряжения

На ТЭЦ с генераторами 63 МВт потребители электроэнергии, расположенные на расстоянии 3—5 км, могут получать электроэнергию на генераторном напряжении. В этом случае на ТЭЦ сооружается РУ 6—10 кВ, как правило, с одной системой шин, секционированной и реактированной. Число и мощность генераторов, присоединенных к ГРУ, определяются на основании проекта электроснабжения потребителей и должны быть такими, чтобы при останове одного генератора оставшиеся полностью обеспечивали питание потребителей.

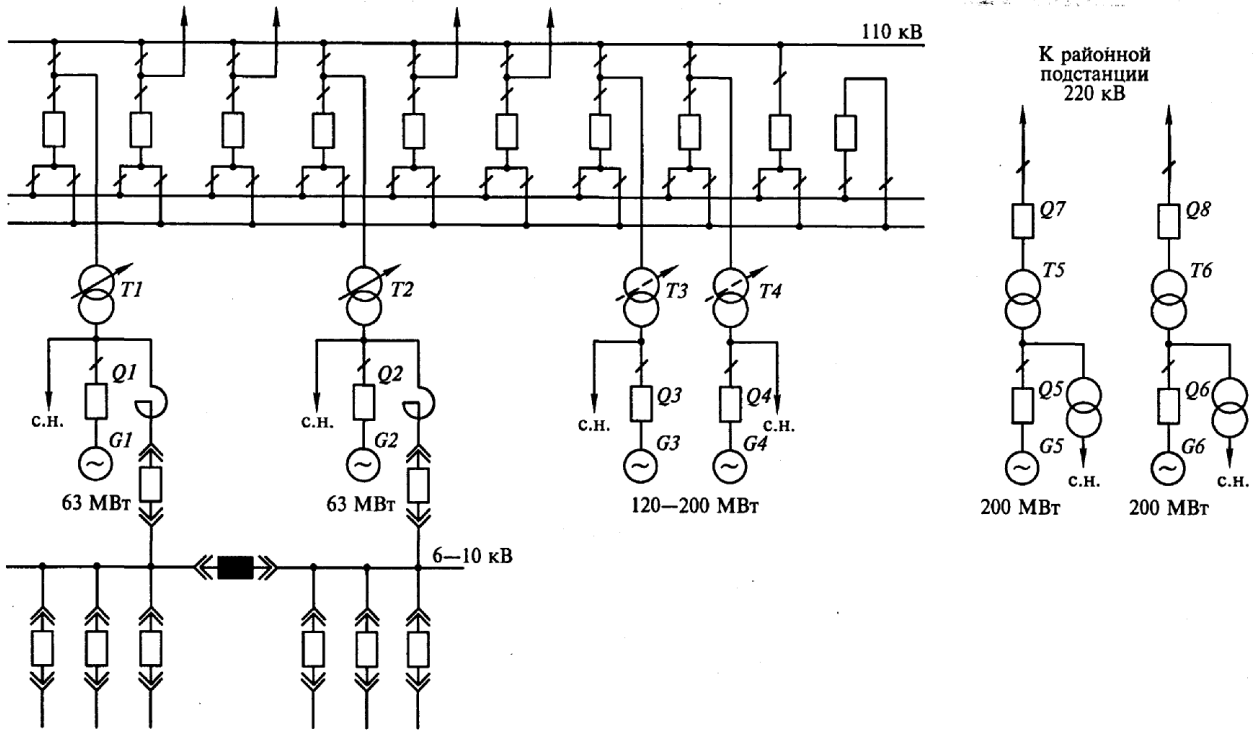
Связь с энергосистемой и выдача избыточной мощности осуществляются по линиям 110 и 220 кВ. Если предусматривается присоединение большого числа линий 110, 220 кВ, то на ТЭЦ сооружается РУ с двумя рабочими и обходной системами шин.

При росте тепловых нагрузок на ТЭЦ могут быть установлены турбогенераторы мощностью 120 МВт и более. Такие турбогенераторы не присоединяются к сборным шинам генераторного напряжения (6—10 кВ), так как, во-первых, это резко увеличит токи КЗ, а во-вторых, номинальные напряжения этих генераторов (15,75, 18 кВ) отличаются от напряжения распределительных сетей. Мощные генераторы соединяются в блоки, работающие на шины 110—220 кВ.

#### Схемы блочных ТЭЦ

Рост единичной мощности турбогенераторов, применяемых на ТЭЦ (120, 250 МВт), привел к широкому распространению блочных схем. В схеме, изображенной на рис., потребители 6—10 кВ получают питание реактированными отпайками от генераторов 1, 2; более удаленные потребители питаются через подстанции глубокого ввода от шин 110 кВ. Параллельная работа генераторов осуществляется на высшем напряжении, что уменьшает ток КЗ на стороне 6—10 кВ. Как и всякая блочная схема, такая схема дает экономию оборудования, а отсутствие громоздкого ГРУ позволяет ускорить монтаж электрической части. Потребительское КРУ имеет две секции с АВР на секционном выключателе. В цепях генераторов для большей надежности электроснабжения устанавливаются выключатели 1, 2. Трансформаторы связи Т1, Т2 должны быть рассчитаны на выдачу всей избыточной активной и реактивной мощности и обязательно снабжаются РПН.

На трансформаторах блоков 3, 4 также может быть предусмотрено устройство РПН (на рис. показано пунктиром), позволяющее обеспечить соответствующий уровень напряжения на шинах 110 кВ при выдаче резервной реактивной мощности ТЭЦ, работающей по тепловому графику. Наличие РПН у этих трансформаторов позволяет уменьшить колебания напряжения в установках с. н.



При дальнейшем расширении ТЭЦ устанавливают турбогенераторы 5, 6, соединенные в блоки. Линии 220 кВ этих блоков присоединяются к близлежащей районной подстанции. При недостаточной чувствительности релейной защиты подстанции к повреждениям в трансформаторах Т5, Т6 предусматривают передачу телеотключающего импульса или устанавливают выключатели 220 кВ 7, 8. Отключение генераторов производится выключателями 5, 6.

Связи между РУ 110 и 220 кВ не предусмотрено, что значительно упрощает схему РУ 220 кВ. Как было отмечено выше, это допустимо в том случае, если связь сетей 110 и 220 кВ осуществляется на ближайшей районной подстанции.

Современные мощные ТЭЦ (500—1000 МВт) сооружаются по блочному типу. В блоках генератор — трансформатор устанавливается генераторный выключатель, что повышает надежность питания с. н. и РУ высокого напряжения, так как при этом исключаются многочисленные операции в РУ с. н. по переводу питания с рабочего на резервный трансформатор с. н. при каждом останове и пуске энергоблока и исключаются операции выключателями высокого напряжения. Не следует забывать, что на ТЭЦ отключение и включение энергоблоков производится значительно чаще, чем на КЭС или АЭС.

#### Схемы собственных нужд ТЭЦ

Рабочие трансформаторы с.н. неблочной части ТЭЦ присоединяются к шинам генераторного напряжения. Число секций с.н. 6 кВ выбирается равным числу котлов. В некоторых случаях выделяют секции для питания общестанционных потребителей.

Мощность рабочих ТСН выбирают по условию

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{с.н.}}}{n},$$

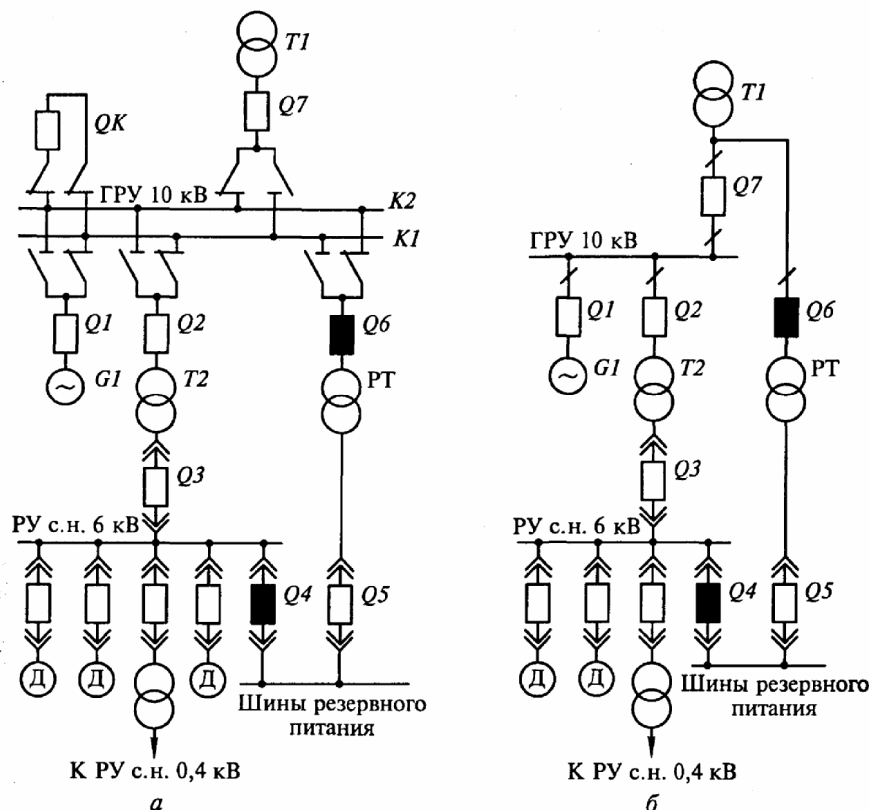
где мощность  $S_{\text{с.н.}}$  неблочной части ТЭЦ;  $n$  — число секций 6 кВ в неблочной части ТЭЦ.

Мощность ТСН и количество секций с. н. в блочной части ТЭЦ выбираются так же, как и для КЭС.

Резервный ТСН присоединяется к шинам ГРУ (при схеме с двумя системами шин) или отпайкой к трансформатору связи (при схеме с одной системой шин).

На рис. а показано присоединение рабочего и резервного трансформаторов с. н. к двойной системе шин ГРУ: рабочий трансформатор Т2 присоединен к первой системе шин К1, а резервный РТ — ко второй системе шин К2. Шиносоединительный выключатель **QK** нормально включен, трансформатор связи присоединен к шинам **К2**. При повреждении в рабочем трансформаторе Т2 отключаются выключатели 2, 3 и автоматически включаются 6, 4. При повреждении на рабочей системе шин **К1** отключаются выключатели 1, **QK** и 3. Напряжение на резервной системе шин **К2** сохраняется благодаря трансформатору связи, соединенному с шинами ВН, поэтому автоматически включаются выключатели 6, 4, восстанавливая питание секции с. н.

На рис. б показано присоединение рабочего и резервного трансформаторов с. н. к ГРУ с одной системой шин.



При аварии в ТСН отключаются выключатели 2, 3 и автоматически включаются 6, 4, подавая питание от резервного трансформатора РТ. При аварии на шинах ГРУ отключаются выключатели 1, 7, после чего автоматически включаются выключатели 6, 4, восстанавливая питание с. н. от шин ВН через трансформатор связи Т1 и резервный РТ.

Обычно к одной секции ГРУ присоединяется один трансформатор с. н. или одна реактированная линия с. н. В этом случае мощность резервного источника должна быть не меньше любого из рабочих.

Если к одной из секций ГРУ присоединены два рабочих источника с.н., то мощность резервного трансформатора или резервной линии выбирается на 50% больше наиболее мощного рабочего источника.

На блочных ТЭЦ резервный трансформатор должен обеспечить замену наиболее крупного рабочего источника и одновременно пуск или аварийный останов одного котла или турбины. Если в блоках генератор — трансформатор установлен выключатель, то резервный трансформатор выбирается такой же мощности, как и рабочий. Мощность резервного трансформатора проверяется по условиям самозапуска.

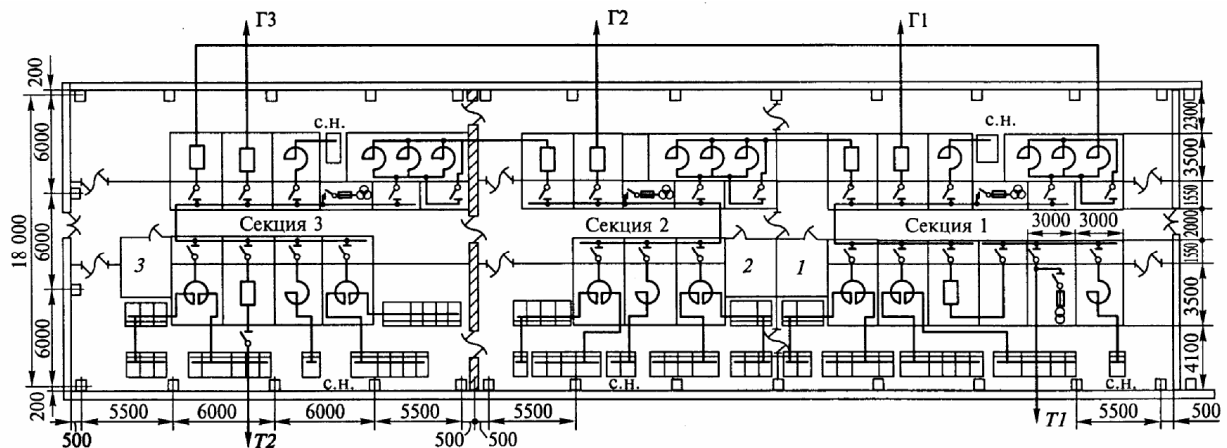
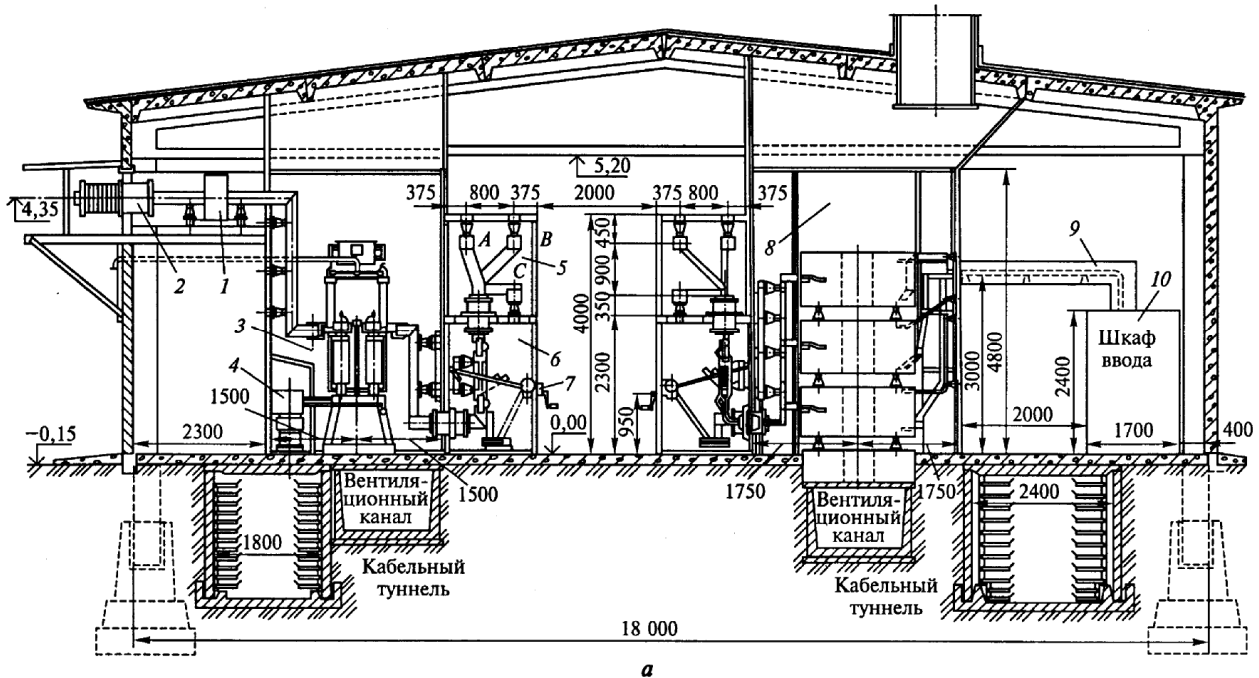
На ТЭЦ неблочного типа (с поперечными связями по паре) выбирается один резервный источник 6 кВ на каждые шесть рабочих трансформаторов или линий. На блочных ТЭЦ число резервных трансформаторов выбирается так же, как и на КЭС.

Схемы питания с. н. 0,4 кВ строятся по такому же принципу, как и на КЭС. Мощность с. н. 0,4 кВ ТЭЦ можно принять равной 15% общей мощности с. н.

Конструкции ЗРУ 6—10 кВ с одной системой шин

РУ 6—10 кВ с одной системой шин без реакторов на отходящих линиях широко применяются в промышленных установках и городских сетях. В таких РУ устанавливаются маломасляные или безмасляные выключатели небольших габаритов, что позволяет все оборудование одного присоединения разместить в одной камере — ячейке комплектного распределительного устройства (КРУ).

Генераторное распределительное устройство (ГРУ) 6—10 кВ с одной системой сборных шин, разделенных на три секции и групповыми сдвоенными реакторами на линиях, показано на рис.



На рис. показаны *а* — разрез по цепям генератора и группового реактора: 1 — трансформатор тока; 2 — проходной изолятор; 3 — камера генераторного выключателя; 4 — привод выключателя; 5 — блок сборных шин; 6 — блок шинных разъединителей; 7 — привод шинных разъединителей; 8 — камера сдвоенного реактора; 9 — шинопровод; 10 — ячейки КРУ; *б* — план-схема заполнения: 1, 2, 3 — вентиляционные камеры.

При конструировании РУ необходимо знать размещение оборудования по камерам, для чего вначале вычерчивается схема заполнения.

Схема заполнения — это электрическая схема включения основного оборудования и аппаратуры, отражающая их действительное взаимное размещение.

В схеме заполнения условно, без соблюдения масштаба показывается контур здания и камер, расположение оборудования и делаются необходимые поясняющие надписи. Схема заполнения облегчает составление спецификации на оборудование, облегчает понимание конструкции распределительного устройства, но не заменяет конструктивных чертежей распределительного устройства. В некоторых случаях вычерчивается план распределительного устройства, и на нем условными обозначениями показывается размещение оборудования. Такой план-схема заполнения показан на рис. б.

В ГРУ предусмотрены три секции сборных шин, к каждой из которых присоединен генератор 63 МВт. К первой и третьей секциям присоединены трехобмоточные трансформаторы связи. На каждой секции установлены два групповых сдвоенных реактора 2х2000 А и четыре сборки КРУ с выключателями ВМПЭ-10. Генераторное распределительное устройство рассчитано на ударный ток до 300 кА. Здание ГРУ одноэтажное, с пролетом 18 м, выполняется из стандартных железобетонных конструкций, которые применяются для сооружения и других зданий тепловых электростанций. В центральной части здания в два ряда расположены блоки сборных шин и шинных разъединителей, далее следуют ячейки генераторных, трансформаторных и секционных выключателей, групповых и секционных реакторов и шинных трансформаторов напряжения. Шаг ячейки 3 м. У стен здания расположены шкафы комплектного распределительного устройства. Все кабели проходят в двух кабельных туннелях.

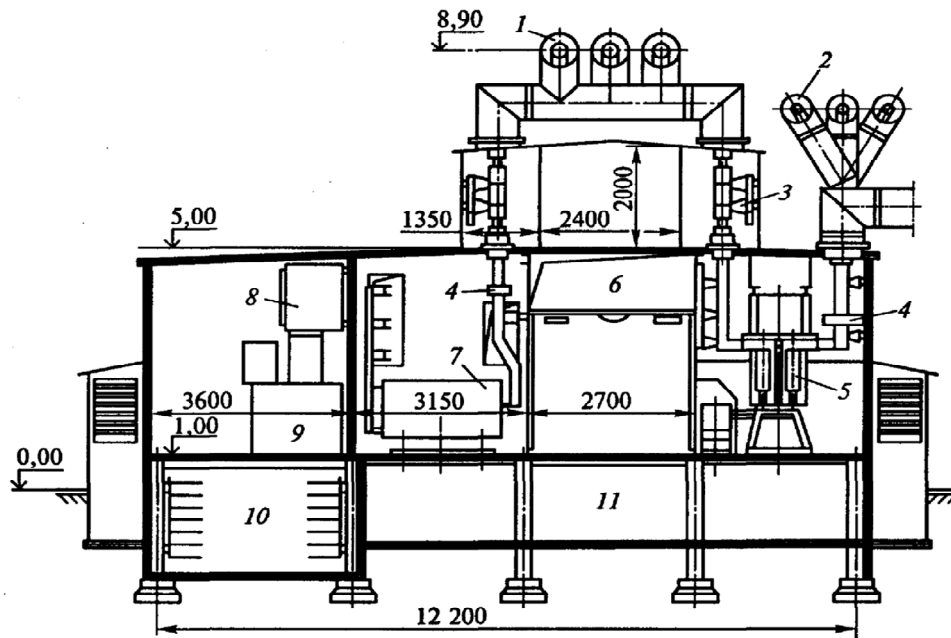
Охлаждающий воздух к реакторам подводится из двух вентиляционных каналов, нагретый воздух выбрасывается наружу через вытяжную шахту. В каналы воздух подается специальными вентиляторами, установленными в трех камерах (1, 2, 3 на б).

Обслуживание оборудования осуществляется из трех коридоров: центральный коридор управления шириной 2000 мм, коридор вдоль шкафов КРУ, рассчитанный на выкатку тележек с выключателями, и коридор обслуживания вдоль ряда генераторных выключателей. Следует обратить внимание на то, что все ячейки генераторных выключателей расположены со стороны генераторного распределительного устройства, обращенной к турбинному отделению, а ячейки трансформаторов связи — со стороны открытого распределительного устройства (план-схема заполнения на рис. б).

Такое расположение позволяет осуществить соединение генераторов и трансформаторов связи с ячейками генераторного распределительного устройства с помощью подвесных гибких токопроводов. Соединение секций сборных шин 6 кВ в кольцо производится снаружи здания гибкой связью.

#### Крупноблочное распределительное устройство генераторного напряжения КГРУ

Конструкция ГРУ, рассмотренная ранее, имеет ряд недостатков: тяжелое каркасное здание, ячейки с металлическими каркасами, большой объем монтажных работ, производимых вручную с применением малой механизации. Этих недостатков не имеет крупноблочное главное распределительное устройство (КГРУ) 6—10 кВ на номинальный ток 8000 А и ударный ток 330 кА, разработанное проектным институтом "Атомэнергопроект". На рис. показан разрез по цепям генератора и сдвоенного реактора КГРУ для схемы с одной системой сборных шин, состоящих из четырех секций, соединенных в кольцо. Ячейки выключателей, реакторов, разъединителей расположены в два ряда, сборные шины — в один ряд. КГРУ рассчитано на присоединение к каждой секции одного генератора 120 МВт или двух по 60 МВт при напряжении 10 кВ и одного генератора 60 МВт при  $U = 6$  кВ. Отходящие кабельные линии присоединяются с помощью шкафов КРУ 9 к ветвям сдвоенных реакторов 7. На каждую секцию могут быть присоединены две группы сдвоенных реакторов по 2х2500 А или три группы по 2х1600 А и по одной секции с. н. Сборные шины 1, ответвления от них, секционная перемычка 2 между первой и четвертой секциями, а также выводы из ячеек генераторов, трансформаторов связи и линий с. н. выполнены пофазно-экранированными токопроводами.

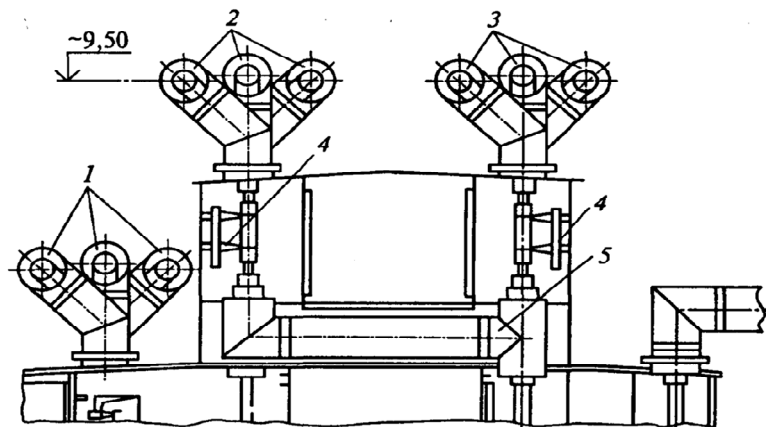


Крупноблочное главное распределительное устройство (КГРУ) с одной системой шин. Разрез по цепям генераторного присоединения и группового реактора:

1 — токопроводы сборных шин; 2 — токопроводы секционной перемычки; 3 — шинный разъединитель; 4 — трансформатор тока; 5 — выключатель; 6 — вентиляционный короб; 7 — реактор; 8 — шкаф разъединителя; 9 — КРУ отходящих линий; 10 — кабельный туннель; 11 — вентиляционный подвал

Шинные разъединители 3 установлены в металлических ячейках с междуфазными перегородками. Ошиновка в ячейках выключателей и реакторов выполняется укрупненными монтажными блоками. Охлаждение ячеек осуществляется с помощью искусственной автоматической вентиляции. Применение КГРУ повышает надежность работы и упрощает эксплуатацию РУ, сокращает затраты на его сооружение. Сооружение КГРУ с одной системой шин на четыре секции уменьшает затраты на 10%, расход металла на 40 %, железобетонных конструкций на 21% по сравнению с типовыми ГРУ.

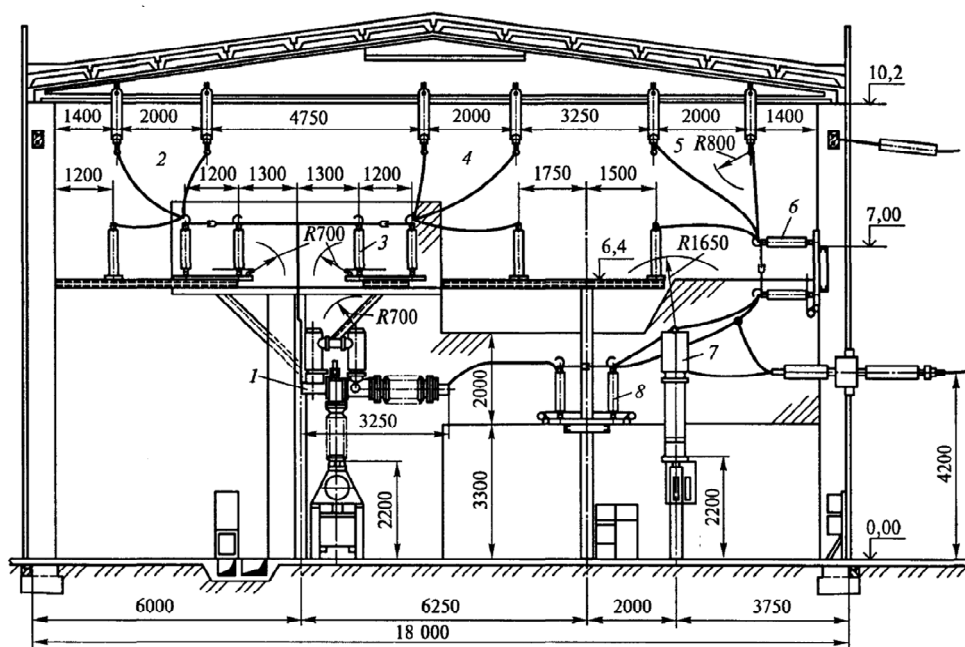
Крупноблочное главное распределительное устройство 6—10 кВ по схеме с двумя системами шин сооружается по тому же принципу, что и с одной системой шин, но, в отличие от него, внесен дополнительный элемент развилки разъединителей от двух систем шин (второй этаж). Все строительные конструкции первого этажа одинаковы для обоих КГРУ (рис.).



КГРУ 6—10 кВ с двумя системами шин (второй этаж):

1 — секционная перемычка; 2 — резервная система шин; 3 — рабочая система шин; 4 — шинные разъединители; 5 — развилка

## Конструкции закрытых РУ 35—220 кВ



ЗРУ 110 кВ зального типа. Разрез по ячейке воздушной линии:  
1 — выключатель ВНВ-110; 2 — первая система шин; 3 — шинные разъединители; 4 — вторая система шин; 5 — обходная система шин; 6 — обходной разъединитель; 7 — конденсатор связи; 8 — линейный разъединитель

В особых условиях (ограниченность площади, загрязненная атмосфера, суровые климатические условия) распределительные устройства 35—220 кВ сооружаются закрытыми. ЗРУ 35—220 кВ дороже ОРУ на то же напряжение, так как стоимость здания значительно больше стоимости металлоконструкций и фундаментов, необходимых для открытой установки аппаратуры. В ЗРУ 35—220 кВ применяют только воздушные, вакуумные или маломасляные выключатели.

Установка баковых масляных выключателей привела бы к значительному увеличению стоимости РУ за счет сооружения специальных камер и маслоборных устройств.

На рис. выше показано закрытое РУ 110 кВ с двумя рабочими и обходной системами шин. Здание зального типа высотой 10,2 м, одноэтажное. Сборные шины выполнены гибкими проводниками и закреплены на гирляндах изоляторов (фазы А, В) и стержневых опорных изоляторах (фаза С). Обслуживание изоляторов, ошиновки, шинных разъединителей производится с помощью передвижных телескопических подъемников. В ЗРУ 110 кВ могут устанавливаться выключатели ВВБ-110, ВНВ-110.

В работающих электроустановках имеются другие конструкции ЗРУ 110 кВ, например двухэтажное с вынесенной наружу обходной системой шин. Последнее обстоятельство является серьезным недостатком, так как значительно увеличивает занимаемую площадь и снижает надежность работы при возможности загрязнения изоляции обходной системы шин.

Так же как и для ГРУ 6—10 кВ, наиболее прогрессивным является применение комплектных РУ 35—220 кВ.

### Комплектные распределительные устройства высокого напряжения

Комплектные распределительные устройства внутренней установки

Комплектное распределительное устройство (КРУ) — это распределительное устройство, состоящее из закрытых шкафов со встроенными в них аппаратами, измерительными и защитными приборами и вспомогательными устройствами. Шкафы КРУ изготавливаются на заводах, что позволяет добиться тщательной сборки всех узлов и обеспечения надежной работы электрооборудования. Шкафы с полностью собранным и готовым к работе оборудованием поступают на место монтажа, где их устанавливают,

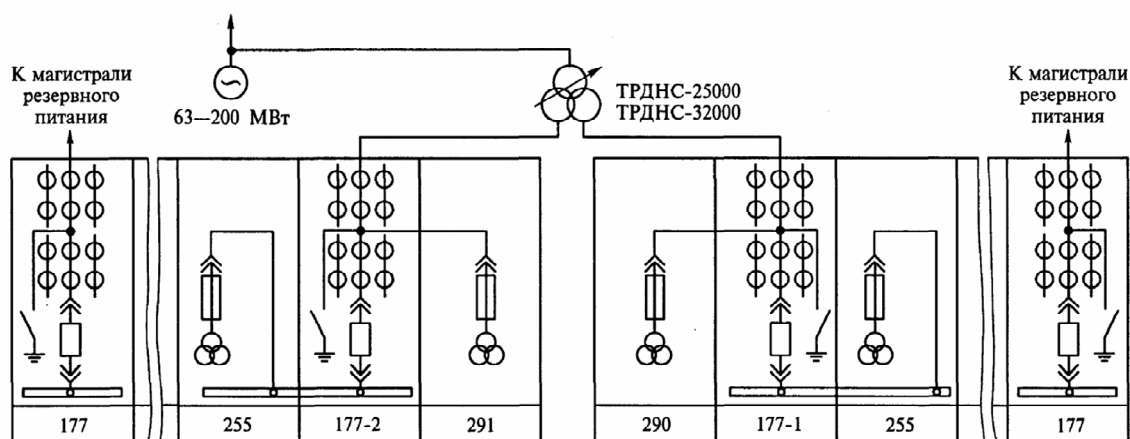


соединяют сборные шины на стыках шкафов, подводят силовые и контрольные кабели. Применение КРУ позволяет ускорить монтаж распределительного устройства. КРУ безопасно в обслуживании, так как все части, находящиеся под напряжением, закрыты металлическим кожухом.

В качестве изоляции между токоведущими частями в КРУ могут быть использованы воздух, масло, пирален, твердая изоляция, инертные газы. КРУ с масляной и газовой изоляцией могут изготавливаться на высокие напряжения 220, 400 и 500 кВ. В КРУ могут применяться обычные аппараты или специально предназначенные для них, могут сочетаться и те и другие. Например, для КРУ 6—10 кВ применяются выключатели обычной конструкции, а вместо разъединителей — втычные контакты.

Наша промышленность выпускает КРУ 3—35 кВ с воздушной изоляцией и 110—220 кВ с изоляцией из элегаза. Применение КРУ приводит к сокращению объема и сроков проектирования.

Шкаф КРУ несгораемыми перегородками разделен на отсеки: выключателя на выдвижной тележке; сборных шин; линейного ввода; релейного шкафа (рис.).



а

Компоновка шкафов КРУ серий К-104М и К-104МС1 для собственных нужд 6 кВ ТЭС с блоками 63—300 МВт:

а — вводы на секции РУСН от рабочих ТСН и от резервной магистрали (см. также с. 403)

Конструкция шкафов КРУ предусматривает возможность установки тележек с выключателем, трансформатором напряжения или с разъединяющими контактами с переключением в рабочем, контрольном положении и выкатывание из шкафа для ревизии и ремонта. Шкафы КРУ имеют блокировочные устройства, не позволяющие вкатывать или выкатывать тележку при включенном выключателе, а также включать заземляющий разъединитель при рабочем положении тележки и вкатывать тележку при включенном заземляющем разъединителе. Вторичные цепи релейного шкафа соединяются с вторичными цепями выкатного элемента с помощью штепсельных разъемов и гибких шлангов.

Изготовители КРУ в каталогах приводят сетку типовых схем главных цепей шкафов, ориентируясь на которую подбирают типы шкафов и комплектуют распределительное устройство конкретной электроустановки.

Обычный вариант компоновки КРУ для собственных нужд электростанции шкафами серии К-104М и К-104С. Шкафы К-104М и К-104С рассчитаны на токи 630—1600 А и комплектуются выключателями: маломасляными ВКЭ-М-10, ВКЭ-10; вакуумными ВВЭ-М-10, ВВПЭ-10, ВБМЭ-10; элегазовыми УЕО7. 12.50, 07.16.50; 12.08.31; 12.12.31; 12.12.40; 12.16.40. На большие токи этим же предприятием «Мосэлектроцит» производятся КРУ К-105 на токи 2000—3150 А. Особенностью серий К-104 и К-105 является размещение сборных шин в нижнем отсеке шкафа и необходимость двустороннего обслуживания, поэтому шкафы устанавливаются на расстоянии не менее 800 мм от стены. Шкафы КРУ К-XXУ1 с односторонним обслуживанием позволяют уменьшить ширину помещения. Они рассчитаны

на 6— 10 кВ, номинальный ток главных цепей до 1600 А, сборных шин — до 3200 А, ток отключения 31,5 кА. В них применяются выключатели ВМПЭ-10, ВВТЭ-М, ВБЧЭ-20 и элегазовые.

В зависимости от номинального напряжения и тока, типов применяемых выключателей, трансформаторов тока и напряжения, размещения их в шкафу в электроустановках применяются различные типы КРУ, выбор которых производится по каталогам.

#### Размещение распределительных устройств на территории электростанций и подстанций

##### Размещение РУ на территории электростанции

Следует лишь отметить, что на ТЭЦ ГРУ 6 (10) кВ обычно находится перед фасадом главного корпуса со стороны турбинного отделения, за ним — открытое РУ. На блочных тепловых электростанциях открытые РУ размещаются за водоподводящим каналом перед фасадом главного корпуса или со стороны котельного отделения. В последнем случае необходима перекидка линий от повышающих трансформаторов через главный корпус. Если на электростанции используются два повышенных напряжения, то автотрансформатор связи обычно устанавливается около РУ высшего напряжения. План размещения ОРУ для ГРЭС 4800 МВт дан на рис. 6.16. к 35 кВ кабелем присоединен резервный трансформатор с. н. На территориях ОРУ 220 и 500 кВ предусматривают помещения для панелей релейной защиты и аккумуляторных батарей. Шунтовые реакторы 500 кВ, если они предусмотрены, устанавливают вдоль железнодорожной колеи.

##### Размещение РУ на территориях районных и узловых подстанций

Все сооружения на площадке подстанции должны размещаться так, чтобы при строительстве и монтаже, а также при ремонтах оборудования можно было использовать различные передвижные и стационарные грузоподъемные устройства.

Для КТПБ 35/10 кВ подъезд транспорта возможен к блокам ввода, блокам выключателей, к трансформаторам и КРУН. Площадка подстанции подготовлена для перемещения грузов и монтажа блоков. На подстанциях более высокого напряжения во всех ОРУ предусматриваются дороги вдоль рядов выключателей и вдоль трансформаторов.

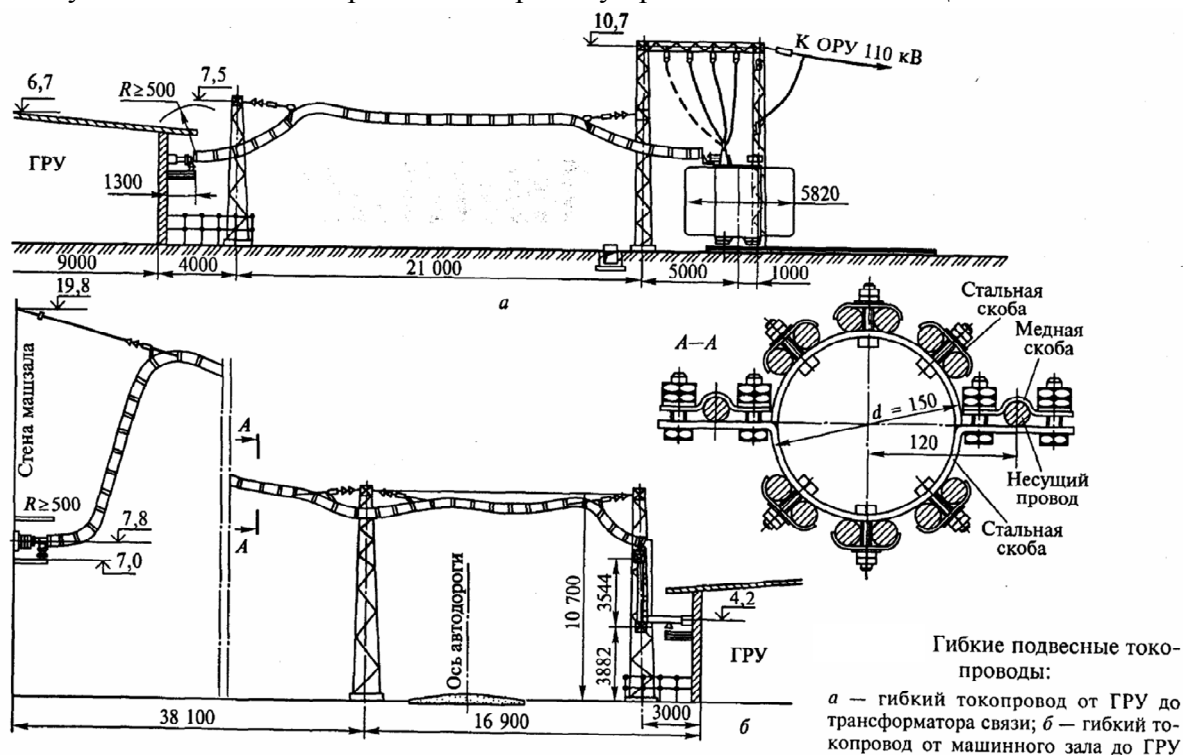
Контрольные и силовые кабели с. н. прокладывают в наземных лотках. В общеподстанционном пункте управления (ОПУ) расположены панели управления собственных нужд и релейной защиты, устройство связи, мастерская для приезжих ремонтных бригад, служебная комната и др.

Для ревизии трансформаторов напряжением до 220 кВ предусматривается площадка около трансформаторов с возможностью использования автокранов. На подстанциях с мощными трансформаторами (автотрансформаторами) напряжением 220 кВ и выше ревизия производится с помощью совмещенного портала, к которому прикреплен ошиновка трансформатора, а усиленная траверса портала рассчитана на подъем кожуха или магнитопровода с обмотками.

#### Конструкции соединений между генераторами, силовыми трансформаторами и ЗРУ 6-10 кВ

Открытые токопроводы. Электрическое соединение генераторов и трансформаторов с распределительным устройством 6— 10 кВ может быть выполнено гибким токопроводом (рис.). Такие токопроводы состоят из пучков алюминиевых проводов, равномерно распределенных по окружности, для чего их закрепляют в кольцах-обоймах. Кольца с токоведущими проводами крепятся к сталеалюминиевым проводам, воспринимающим механическую нагрузку. Число проводов определяется расчетом с учетом экономической плотности тока. Несущие провода подвешены на натяжных гирляндах к стене главного корпуса и к опорам. Расстояние между кольцами-обоймами принимается 1 м. Переход от гибких проводов к линейным выводам в стене главного корпуса и ГРУ выполняется с помощью специальной концевой разделки. Расстояние между фазами гибкого токопровода

составляет 3 м. Гибкие токопроводы надежны в работе, просты в изготовлении и имеют небольшую стоимость. Это привело к широкому применению их на ТЭЦ.

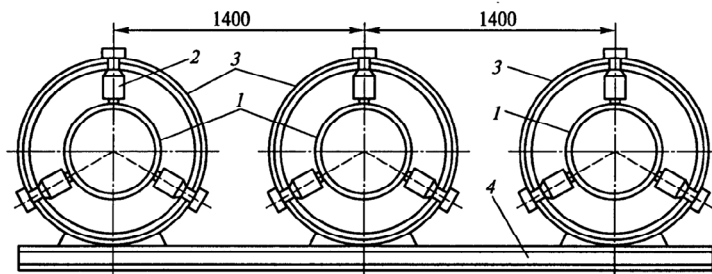


На подстанциях соединение силового трансформатора с РУ 6—10 кВ может выполняться шинным мостом. Жесткие шины крепятся на штыревых изоляторах, установленных на металлических или железобетонных конструкциях. Расстояния между фазами и изоляторами принимаются по расчету, обычно для установок 6—10 кВ расстояния между фазами составляет 0,6—0,8 м, между изоляторами 1—1,5 м. На выводе из РУ и около трансформатора предусмотрены шинные компенсаторы. Достоинство такого соединения — простота, а при небольшой длине — надежность и экономичность. С увеличением длины шинного моста увеличивается количество изоляторов, возрастает стоимость и снижается надежность, так как более вероятно перекрытие по изоляторам, особенно при их загрязнении. Это привело к тому, что на тепловых электростанциях открытые шинные мосты обычно не применяют. На гидроэлектростанциях соединение генераторов с повышающим трансформатором может выполняться шинным мостом.

#### Комплектные токопроводы

На мощных тепловых электростанциях для соединения генераторов с повышающими трансформаторами широко применяются комплектные пофазно-экранированные токопроводы. Токоведущие шины каждой фазы закреплены в заземленном кожухе (экране) с помощью изоляторов. Кожух выполнен из алюминия во избежание сильного нагрева вихревыми токами, которые возникают при воздействии магнитного потока, созданного током нагрузки. Закрытое исполнение токопроводов каждой фазы обеспечивает высокую надежность, так как практически исключаются междуфазные КЗ на участке от генератора до повышающего трансформатора. Несмотря на более высокую стоимость по сравнению с гибкими связями, комплектные токопроводы рекомендуется применять для соединения генераторов 60 МВт и выше с трансформаторами. Для генераторов до 200 МВт комплектные токопроводы применяют, если блочный трансформатор удален от стены турбинного отделения не более чем на 30 м. При больших расстояниях соединение вне машинного зала выполняется гибким подвесным токопроводом. Комплектный пофазный токопровод применяется также для генераторов 60 и 100 МВт, работающих на сборные шины, в пределах турбинного отделения. Между турбинным отделением и ГРУ соединение выполняется гибким токопроводом. Пофазно-экранированные токопроводы с непрерывным

кожухом имеют выемные изоляторы, с помощью которых крепится токоведущая алюминиевая шина цилиндрической формы. Кожух обеспечивает безопасность обслуживания, защищает проводники и изоляторы от пыли, влаги, случайного попадания посторонних предметов, исключает возможность междуфазных замыканий в пределах токопровода. Три фазы токопровода крепят на стальной балке.

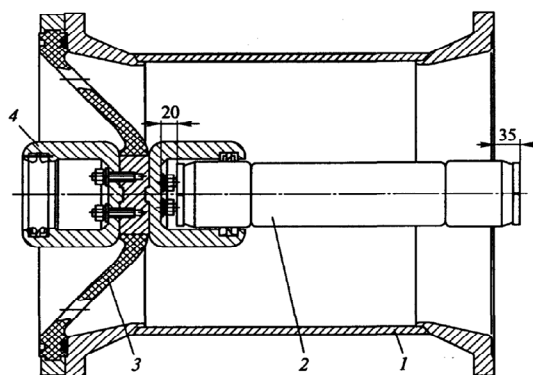


Пофазный экранированный токопровод:

1 — токоведущая шина; 2 — изоляторы выемные; 3 — кожух; 4 — стальная балка

Первоначально комплектные токопроводы выполняли с секционированием кожуха типа ТЭК. Отдельные секции соединяли с помощью резиновых прокладок, поэтому каждая секция токопровода заземлялась шиной. В таких токопроводах внешнее магнитное поле не компенсируется и окружающие стальные конструкции чрезмерно нагреваются вихревыми токами. Усложняет эксплуатацию большое количество резиновых уплотнений и сложная система заземления. Более совершенной конструкцией является токопровод с непрерывной замкнутой системой кожухов типа ТЭН. В таком токопроводе секции кожухов каждой фазы соединены сваркой. По концам токопровода кожухи трех фаз соединены между собой. В такой системе образуются токи, циркулирующие вдоль кожухов и создающие магнитный поток, который почти полностью компенсирует внешний магнитный поток токопровода. В окружающих металлических конструкциях нагрева от вихревых токов не возникает. При КЗ экранирующее действие кожухов приводит к снижению электродинамических сил на проводники в несколько раз. Токопроводы ТЭН выпускаются на напряжение 20—24 кВ, ток до 24 кА, электродинамическую стойкость до 570 кА.

Дальнейшим совершенствованием токопроводов является переход от воздушной изоляции внутри токопровода к элегазовой. В КРУЭ применяются токопроводы элегазовые на 110-500кВ для соединения элегазового оборудования между собой. Линейный токопровод состоит из алюминиевых цилиндрических оболочек 1, в которых с помощью изоляционных элементов 3 установлена токоведущая шина 2. Секции имеют фланцевые соединения, при этом токоведущая система одной секции соединяется с токоведущей системой другой секции штепсельным разъемом 4. Такой же разъем применяется для присоединений вводов линий в здание КРУЭ и последующим соединением его с элегазовым токопроводом, а также для присоединения кабельных вводов.



Токопровод элегазовый на 110—500 кВ:

1 — алюминиевая оболочка; 2 — токоведущая шина; 3 — изоляционные элементы; 4 — штепсельный разъем

## Тема 2. Понижающие подстанции электрических сетей 35-220 кВ – источники питания систем электроснабжения. (6 час.)

Принципы выбора схем подстанций. Установка заземляющих ножей и оперативные блокировки. Выбор схем понижающих подстанций 35-220/6-20 кВ, питающих потребителей системы электроснабжения. Схемы ГПП и ПГВ 35-220 кВ. Присоединение РУ напряжением 6-10 кВ к понижающим трансформаторам. Схемы с двумя системами шин. Схемы РП напряжением выше 1 кВ. Схемы ТП 6-10/0,4 кВ. Схемы РП напряжением до 1 кВ.

### **Классификация подстанций**

Функционально подстанции делятся на трансформаторные, преобразовательные и распределительные.

*Трансформаторные подстанции* предназначены для приема, преобразования (тока и напряжения), распределения электрической энергии.

*Преобразовательные подстанции* предназначены для приема, преобразования (частоты, рода тока) и распределения электрической энергии.

*Распределительные подстанции* предназначены для приема и распределения электрической энергии без ее преобразования.

Трансформаторные подстанции по значению в системе электроснабжения делятся на главные понизительные подстанции, подстанции глубокого ввода, трансформаторные подстанции 10(6) кВ (ТП). Последние называются цеховыми подстанциями в промышленных сетях, городскими — в городских сетях.

Распределительные подстанции делятся на узловые распределительные подстанции напряжением 10(6) кВ и выше; центральные распределительные подстанции (пункты) напряжением 10(6) кВ; распределительные подстанции (пункты) напряжением 10(6) кВ.

В зависимости от способа присоединения подстанции к питающей линии трансформаторные подстанции делятся на тупиковые, проходные, ответвительные.

Если линия питает только одну подстанцию, то подстанция называется тупиковой рис. а. К тупиковым подстанциям относятся подстанции, получающие питание по радиальным схемам, и последние подстанции в магистральной схеме с односторонним питанием. Проходная подстанция включается в рассечку питающей магистральной линии, т. е. имеется вход и выход питающей линии (рис. б).

Если подстанция подключается через ответвление от питающей линии, она называется ответвительной (рис. в).

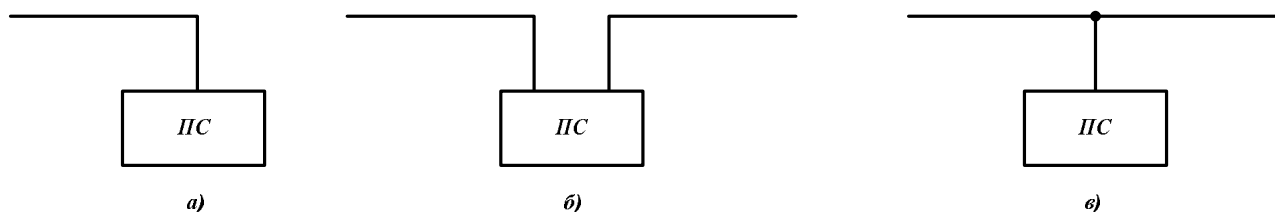


Рис. Схемы присоединения подстанций к питающей линии:  
а - тупиковая; б - проходная; в - ответвительная

По типу подстанции делятся на открытые и закрытые. Открытой подстанцией называется подстанция с открытой установкой трансформаторов, закрытой — подстанция, все элементы которой (распределительные устройства и трансформаторы) устанавливаются в специальном помещении.

В зависимости от места установки и размещения оборудования подстанции напряжением 10(6) кВ делятся на внутрицеховые, встроенные, пристроенные, отдельно стоящие.

*Внутрицеховой* подстанцией называется подстанция, расположенная внутри здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

*Встроенной подстанцией* называется подстанция, вписанная в контур основного здания.

*Пристроенная подстанция* непосредственно примыкает к основному зданию.

*Отдельно стоящая подстанция* располагается отдельно от производственных и общественных зданий.

В зависимости от числа обмоток трансформатора подстанции могут быть с двух- и трехобмоточными (автотрансформаторами) трансформаторами, с расщепленными обмотками низшего напряжения.

### **Структурные схемы трансформаторных подстанций**

Подстанция с двухобмоточными трансформаторами состоит из трех основных узлов: распределительного устройства высшего напряжения (РУВН); силового трансформатора или автотрансформатора<sup>1</sup> (одного или нескольких), распределительного устройства низшего напряжения (РУНН) (рис. а, в), вспомогательных устройств (компрессорных, аккумуляторных и т. п.), устройств релейной защиты, автоматики, измерения. В подстанциях с трехобмоточными трансформаторами добавляется четвертый узел — распределительное устройство среднего напряжения (РУСН) (рис. б). В схемах электроснабжения могут применяться трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения (рис. в, д), что приводит к увеличению секций сборных шин в РУНН. Применение трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения позволяет уменьшить токи короткого замыкания за трансформаторами. С этой же целью на подстанциях могут устанавливаться сдвоенные реакторы (рис. г, д).

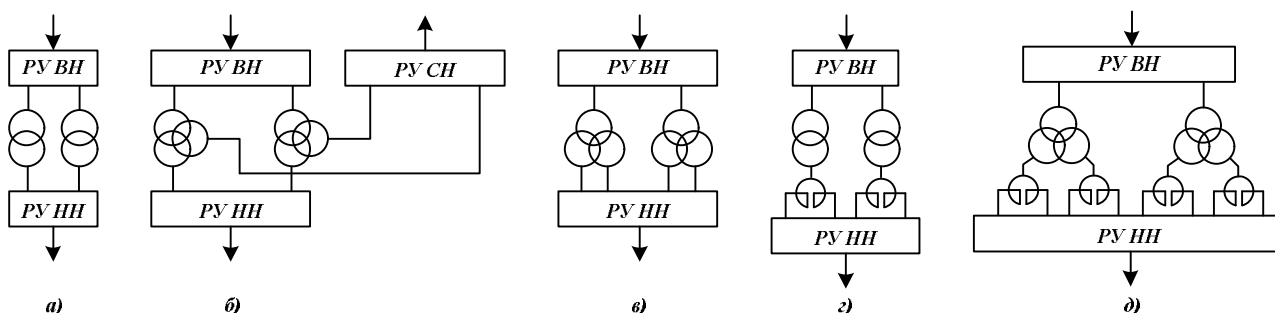


Рис. Структурные схемы трансформаторные подстанции

Распределительное устройство высокого напряжения подстанции чаще всего выполняет функции приема электрической энергии от линии электропередачи к трансформатору. В отдельных случаях РУВН может выполнять функции приема и распределения электроэнергии (по требованию энергоснабжающей организации или при целесообразности питания от главной понизительной подстанции нескольких подстанций глубокого ввода на напряжениях 110—330 кВ).

Распределительные устройства средних и низших напряжений всегда выполняют функции приема и распределения электроэнергии. Аналогичные функции выполняют и распределительные подстанции. Идентичность функций определяет идентичность схем и конструкций распределительных устройств и распределительных подстанций, поэтому в дальнейшем под термином «распределительное устройство» может подразумеваться и распределительная подстанция.

Распределительные устройства могут быть комплектными, сборными, открытыми и закрытыми. При стесненной городской и промышленной застройке в распределительных устройствах может быть применено электрооборудование с элегазовой изоляцией.

<sup>1</sup> В дальнейшем, если не требуется уточнения, под термином «трансформатор» будет подразумеваться и автотрансформатор.

### ***Общие вопросы проектирования подстанций***

Проектирование подстанций регламентируется нормативными документами, разработанными институтами Энергосетьпроект и Тяжпромэлектропроект. Основные рекомендации для решения вышеперечисленных вопросов приведены в изданных Министерством энергетики РФ «Рекомендациях по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35—750 кВ» (Издательство НЦ ЭНАС, 2004 г.).

Проект подстанции разрабатывается на 5 лет с момента предполагаемого ввода ее в эксплуатацию и с перспективой развития на последующее время (не менее 5 лет).

Проектирование подстанций ведется на основе следующих утвержденных схем:

- схемы развития энергосистемы или электрических сетей города;
- схемы внешнего электроснабжения объекта (промышленного предприятия, микрорайона города и т. д.);
- схемы организации ремонта, технического и оперативного обслуживания;
- схемы развития средств управления общесистемного назначения (СУОН), включающие в себя релейную защиту и автоматику аварийного режима (РЗА), противоаварийную автоматику, а также схемы развития автоматизированных систем диспетчерского управления.

Исходными данными для проектирования служат:

- район размещения подстанции;
- нагрузки на расчетный период и их перспективное развитие с указанием распределения по напряжениям и категориям;
- число присоединяемых линий напряжением 35 кВ и выше, их нагрузки;
- число линий 10(6) кВ и их нагрузки;
- расчетные значения токов однофазного и трехфазного короткого замыкания с учетом развития сетей и генерирующих источников на срок не менее пяти лет, считая от предполагаемого ввода в эксплуатацию;
- уровни и пределы регулирования напряжения на шинах подстанции и необходимость дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электрической энергии;
- режимы заземления нейтралей трансформаторов;
- границы раздела обслуживания объектов различными энергообъединениями и энергопредприятиями и т. д.

При проектировании подстанций решаются следующие задачи:

- выбор площадки для строительства подстанции;
- выбор типа и исполнения подстанций и распределительных устройств (закрытого или открытого типа, комплектная, сборная и т. д.);
- определение схемы электрических соединений распределительных устройств высокого, среднего и низшего напряжений;
- ограничение токов короткого замыкания;
- выбор основного электротехнического оборудования и токоведущих частей;
- ограничение перенапряжений, выбор места установки, числа ограничителей перенапряжений или вентильных разрядников и других защитных средств для ограничения перенапряжений;
- заземление подстанций;
- выбор источников оперативного тока и источников питания собственных нужд подстанции;
- управление, релейная защита, автоматика, сигнализация.

Для трансформаторных подстанций дополнительно решаются следующие задачи:

- выбор числа трансформаторов, определение их мощности, номинальных напряжений, соотношения мощностей обмоток трехобмоточных трансформаторов;
- выбор режимов заземления нейтралей трансформаторов; при необходимости решается

вопрос компенсации емкостных токов в электрических сетях 6—35 кВ (выбор места установки, числа и мощности дугогасящих реакторов);

- определение уровней и пределов регулирования напряжения на шинах подстанции, необходимости установки дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электрической энергии.

### ***Основные элементы распределительных устройств***

Распределительные устройства всех напряжений, осуществляющие прием и распределение электрической энергии, выполняются со сборными шинами. Распределительные устройства ВН трансформаторных подстанций, предназначенные только для приема электрической энергии (без ее распределения), выполняются без сборных шин по блочным, мостиковым и другим схемам.

Распределительное устройство со сборными шинами состоит из сборных шин, к которым через ответвительные шины подключаются различные присоединения:

- питающие линии (ввод);
- отходящие линии;
- секционирование;
- трансформаторы напряжения;
- трансформаторы для собственного обслуживания;
- заземляющие разъединители сборных шин и др.

Сборными шинами называются короткие участки шин жесткой или гибкой конструкции, обладающие малым электрическим сопротивлением, предназначенные для подключения присоединений.

По своему назначению сборные шины делятся на рабочие, резервные и обходные. Рабочая система шин в нормальном режиме находится под напряжением и осуществляет питание всех подключенных к ней присоединений. Резервная система шин служит для питания присоединений подстанции в случае ремонта или ревизии рабочей системы шин. В нормальном режиме резервная система шин находится не под напряжением. Обходная система шин применяется при повышенных требованиях к надежности электроснабжения и позволяет осуществлять контроль и ремонт любого коммутационного аппарата без отключения потребителей. В нормальном режиме обходная система шин не под напряжением.

На всех присоединениях на участках от сборных шин до выключателей, предохранителей, трансформаторов напряжения и т. п., а также на участках, где возможна подача напряжения от других источников напряжения, обязательно устанавливаются разъединители, обеспечивающие видимый разрыв цепи. Указанное требование не распространяется на шкафы КРУ и КРУН с выкатными тележками, высокочастотные заградители и конденсаторы связи, трансформаторы напряжения, устанавливаемые на отходящих линиях, разрядники, устанавливаемые на вводах трансформаторов и на отходящих линиях.

Питающие и отходящие линии подключаются к сборным шинам через разъединители и выключатели. На каждую линию необходим один выключатель, один или два шинных разъединителя (в зависимости от применяемой системы сборных шин) и один линейный разъединитель. Выключатель служит для включения и отключения линии в нормальных и аварийных режимах. Шинный разъединитель предназначен для создания видимого отключения сети и создания безопасных условий для проведения контроля и ремонта выключателя, а также при двух системах шин — для переключения присоединений с одной системы шин на другую без перерыва в работе. Линейный разъединитель предусматривается в присоединениях, где при отключенном выключателе линия может оказаться под напряжением и необходимо видимое отключение линии для безопасного ремонта выключателя.



При использовании комплектных распределительных устройств выкати ого исполнения выключатели, трансформаторы напряжения и другое оборудование устанавливаются на выкатных тележках. В этом случае на схеме указываются штепсельные разъемы.

В распределительных устройствах обязательно предусматриваются стационарные заземляющие ножи, обеспечивающие заземление аппаратов и ошиновки без применения переносных заземлителей. Распределительные устройства должны быть оборудованы оперативной блокировкой, исключающей ошибочные действия с разъединителями, выключателями, заземляющими ножами и т. д.

На присоединениях питающих и отходящих линий кроме коммутационных аппаратов устанавливаются трансформаторы тока, на воздушных линиях напряжением 35 кВ и выше - высокочастотные заградители и конденсаторы связи.

Трансформаторы напряжения устанавливаются на каждую систему шин, а если система шин делится на части (секции), то на каждую секцию шин. Трансформаторы напряжения подключаются к сборным шинам через разъединители и предохранители в РУ 6—35 кВ и через разъединители в РУ 110 кВ и выше.

При необходимости в распределительном устройстве предусматриваются трансформаторы для собственного обслуживания, которые служат для питания оперативных цепей, а также освещения технологических и вспомогательных зданий и сооружений подстанции. Трансформаторы для собственного назначения подключаются через предохранители до выключателей ввода, если ТСН используются для питания оперативных цепей, и на сборные шины, если ТСН не используются для питания оперативных цепей.

### ***Принципы выбора схем электроподстанций***

Схемы подстанций выбираются с учетом общей схемы электроснабжения, т.е. вид схемы сетей (радиальной или магистральной) значительно влияет на вид схем подстанций, входящих в общую систему электроснабжения.

Схемы подстанций всех напряжений разрабатываются исходя из следующих основных положений: применение простейших схем с минимальным числом выключателей; преимущественного применения одной системы сборных шин на ГПП и РП с разделением ее на секции; применения, как правило, отдельной работы линий и отдельной работы трансформаторов; применения блочных схем и бесшинных подстанций глубоких вводов напряжением 110...220 кВ.

На вводах напряжением 6...10 кВ распределительных подстанций и на выводах вторичного напряжения ГПП и ПГВ, как правило, следует устанавливать выключатели для автоматического включения резерва.

При секционировании разъединителями шин на напряжении 6...10 кВ рекомендуется устанавливать два разъединителя последовательно для безопасной работы персонала на отключенной секции, а также на самом секционном разъединителе при работающей другой секции.

Для уменьшения токов КЗ в сетях напряжением 6...10 кВ следует применять трансформаторы с расщепленными вторичными обмотками. При реагировании наиболее целесообразны схемы с групповыми реакторами в цепях вторичного напряжения трансформаторов или на вводах питающих линий. Трансформаторы тока и реакторы следует устанавливать после выключателя.

***Установка заземляющих ножей.*** Установка заземляющих ножей (ЗН) у разъединителей для заземления элементов электроустановки при их ревизии и ремонте выполняется следующим образом:

выключатель при ревизии должен быть заземлен с двух сторон, поэтому у расположенных по обе его стороны разъединителей устанавливаются ЗН со стороны, обращенной к выключателю;

для ревизии линии устанавливаются ЗН у линейного разъединителя со стороны линии;

для ревизии сборных шин устанавливаются ЗН на разъединителях трансформаторов напряжения со стороны сборных шин, с противоположной стороны этих разъединителей также устанавливаются ЗН для ревизии трансформатора напряжения.

Следовательно, часть разъединителей снабжается ЗН с двух сторон (это линейные разъединители и шинные разъединители в цепях трансформатора напряжения), а часть разъединителей - с одной стороны (это шинные разъединители на стороне, обращенной к выключателю).

Предусматривается полная блокировка, предотвращающая ошибочные операции как с разъединителями, так и с ЗН, т. е. блокировка исключает возможность подачи напряжения выключателями или разъединителями на шины или участки шин, заземленные посредством ЗН, а также блокировка разрешает включение ЗН только на участки шин, отключенные разъединителями со всех сторон от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

### **Схемы распределительных устройств напряжением 6-220 кВ со сборными шинами**

Применяются следующие схемы распределительных устройств:

- с одной несекционированной системой шин;
- с одной секционированной системой шин;
- с двумя одиночными секционированными системами шин;
- с четырьмя одиночными секционированными системами шин;
- с одной секционированной и обходной системами шин;
- с двумя системами шин;
- с двумя секционированными системами шин;
- с двумя системами шин и обходной;
- с двумя секционированными системами шин и обходной.

**Схема с одной несекционированной системой шин** — самая простая схема, которая применяется в сетях 6—35 кВ (рис.). В сетях 10(6) кВ схему называют **одиночной системой шин**. На отходящих и питающих линиях устанавливается один выключатель, один шинный и один линейный разъединители.

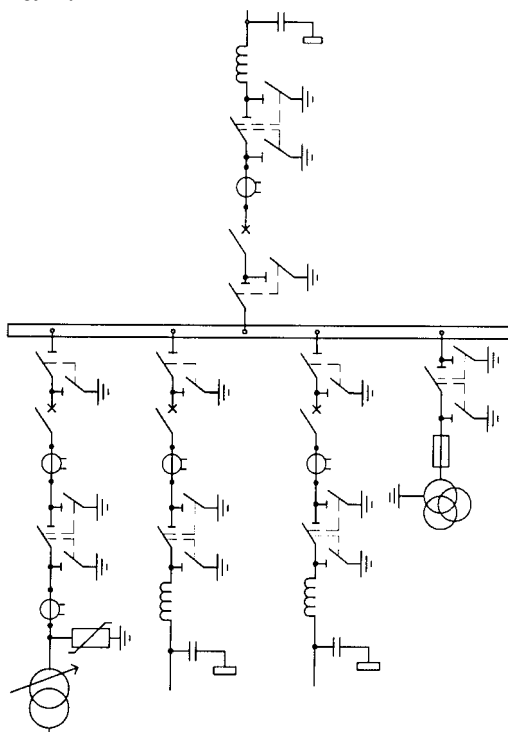


Рис. Схема с одной системой шин

Недостатки данной схемы:

- в схеме используется один источник питания;
- профилактический ремонт сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением распределительного устройства, что приводит к перерыву электроснабжения всех потребителей на время ремонта;
- повреждения в зоне сборных шин приводят к отключению распределительного устройства;
- ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

**Схема с одной секционированной выключателем системой шин** (рис.) позволяет частично устранить перечисленные выше недостатки предыдущей схемы путем секционирования системы шин, т. е. разделения системы шин на части с установкой в точках деления секционных выключателей. Секционирование, как правило, выполняется так, чтобы каждая секция шин получала питание от разных источников питания. Число присоединений и нагрузка на секциях шин должны быть по возможности равными.

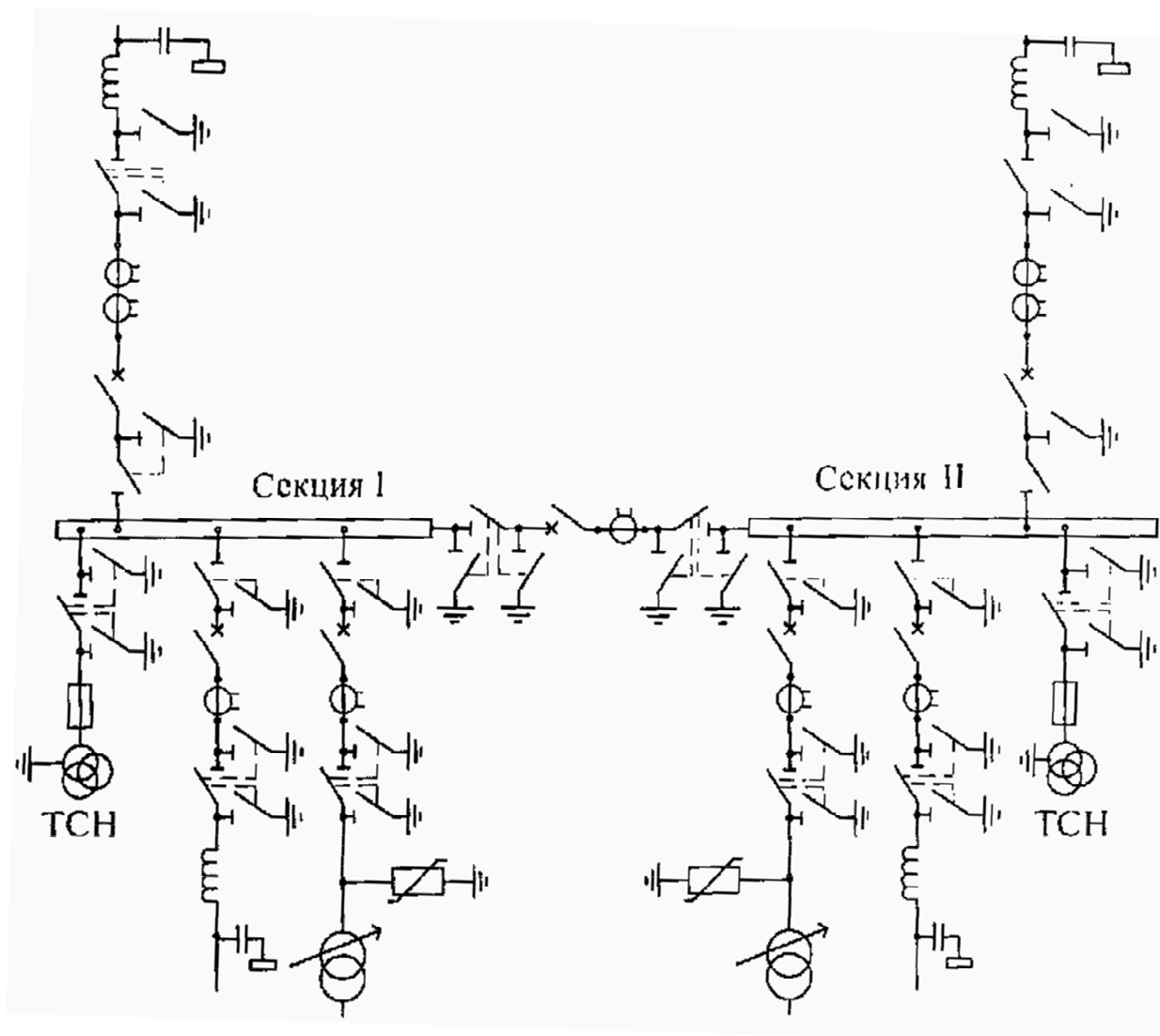


Рис. Схема с одной секционированной системой шин

В нормальном режиме секционный выключатель может быть включен (параллельная работа секций шин) или отключен (раздельная работа секций шин). В системах электроснабжения промышленных предприятий и городов предусматривается обычно раздельная работа секций шин. Данная схема проста, наглядна, экономична, обладает достаточно высокой надежностью, широко применяется в промышленных и городских сетях для электроснабжения потребителей любой категории на напряжениях до 35 кВ включительно.

Допускается применять данную схему при пяти и более присоединениях в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ ПО кВ с выкатными выключателями при условии возможности замены выключателей в эксплуатационный период. В сетях 10(6) кВ эта схема имеет преимущество. По сравнению с одиночной несекционированной системой шин данная схема имеет более высокую надежность, так как при коротком замыкании на сборных шинах отключается только одна секция шин, вторая остается в работе.

Недостатки схемы с одной секционированной выключателем системы шин:

- на все время проведения контроля или ремонта секции сборных шин один источник питания отключается;
- профилактический ремонт секции сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением всех линий, подключенных к этой секции шин;
- повреждения в зоне секции сборных шин приводят к отключению всех линий соответствующей секции шин;
- ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

Вышеперечисленные недостатки частично устраняются при использовании схем с большим числом секций. На рис. представлена схема РУ 10(6) кВ подстанции с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с двумя сдвоенными реакторами. Схема имеет четыре секции шин и называется «**две одиночные секционированные выключателями системы шин**».

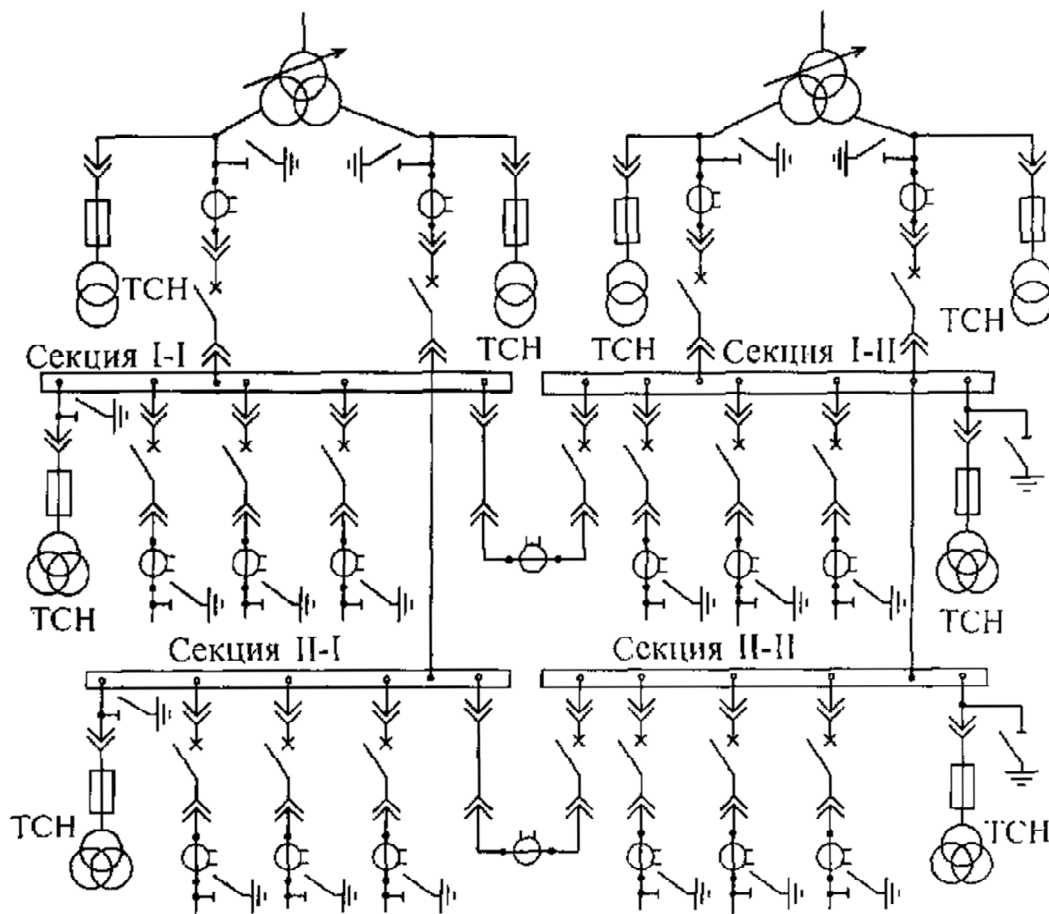


Схема с двумя одиночными секционированными системами шин (ТСТ при постоянном оперативном токе подключаются к сборным шинам)

При наличии одновременно двух трансформаторов с расщепленной обмоткой и двух сдвоенных реакторов применяется схема, состоящая из восьми секций шин, которая называется «**четыре одиночные секционированные выключателями системы шин**» (рис.).

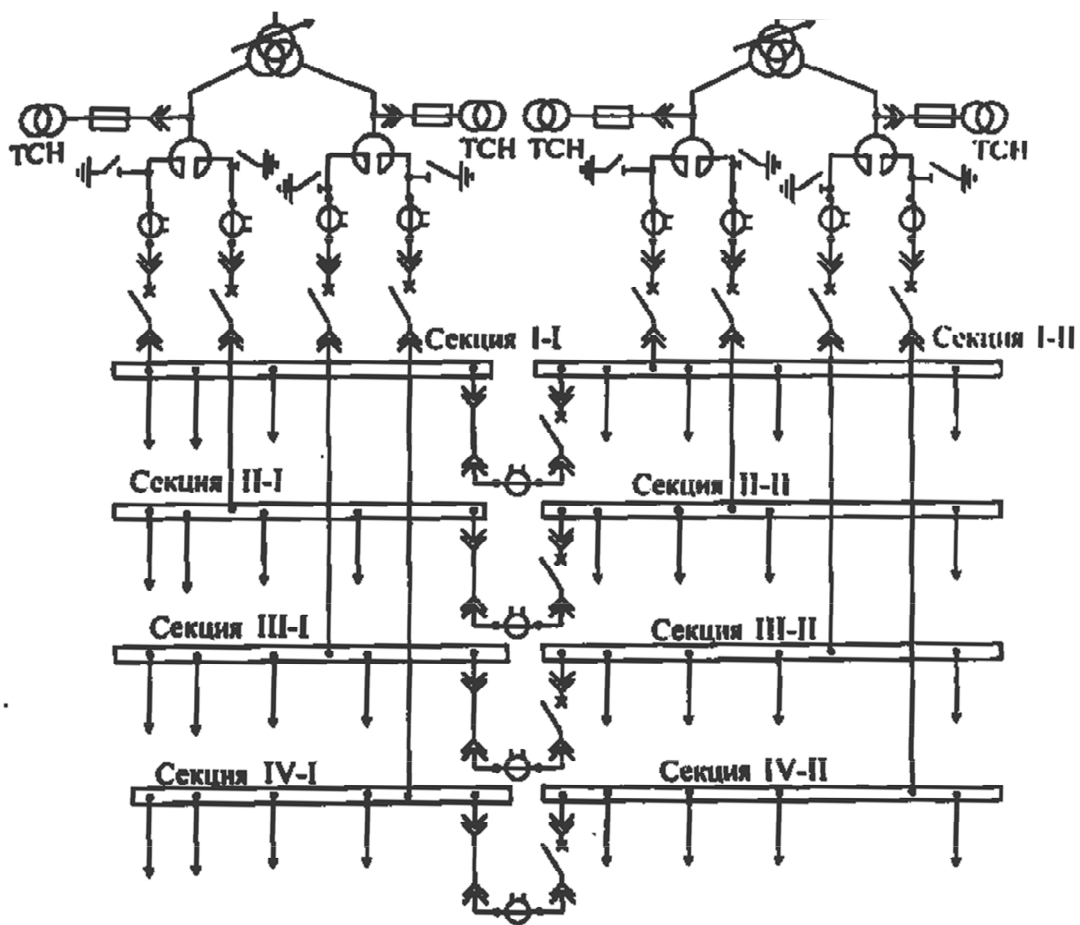


Рис. Схема с четырьмя одиночными секционированными системами шин

Схема с одной секционированной выключателем и обходной системами шин (рис.) позволяет проводить ревизию и ремонт выключателей без отключения присоединения.

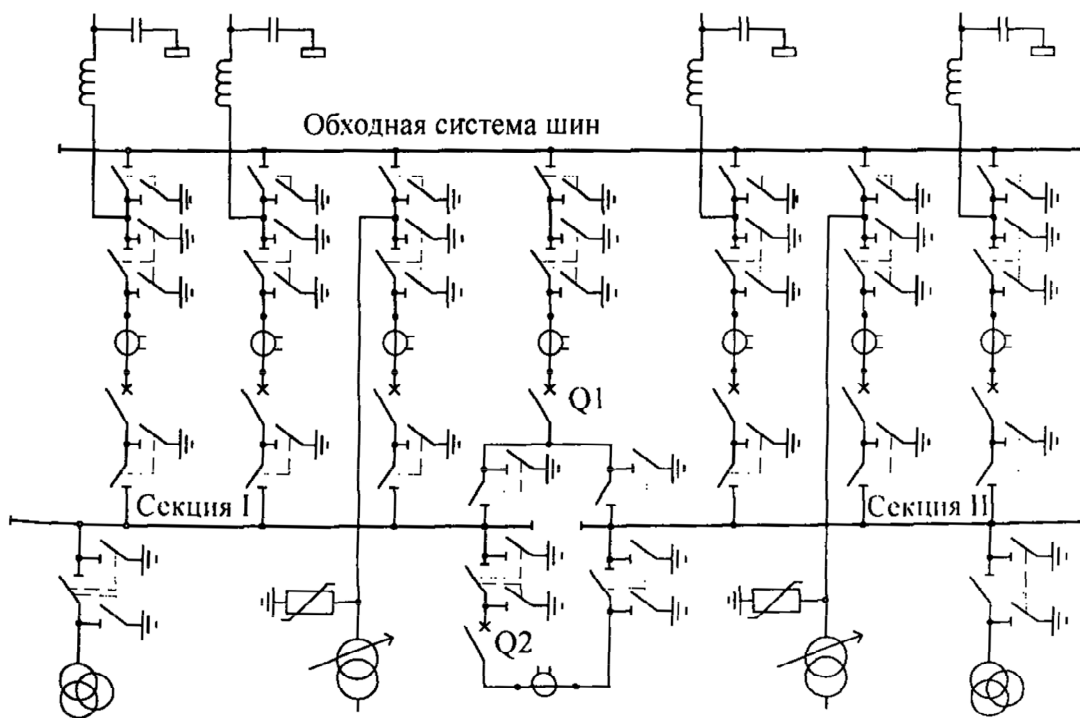


Схема с одной секционированной и обходной системами шин с обходным (1) и секционным (2) выключателями

В нормальном режиме обходная система шин находится без напряжения, разъединители, соединяющие линии и трансформаторы с обходной системой шин, отключены. В схеме могут быть установлены два обходных выключателя, осуществляющие связь каждой секции шин с обходной. В целях экономии средств ограничиваются одним обходным выключателем с двумя шинными разъединителями, с помощью которых обходной выключатель может быть присоединен к первой или второй секциям шин. Именно эта схема предлагается в качестве типовой для распределительных устройств напряжением 110—220 кВ при пяти и более присоединениях.

В схеме с двумя системами сборных шин каждое присоединение содержит выключатель, два шинных разъединителя и линейный разъединитель. Системы шин связываются между собой через шинносоединительный выключатель (рис.).

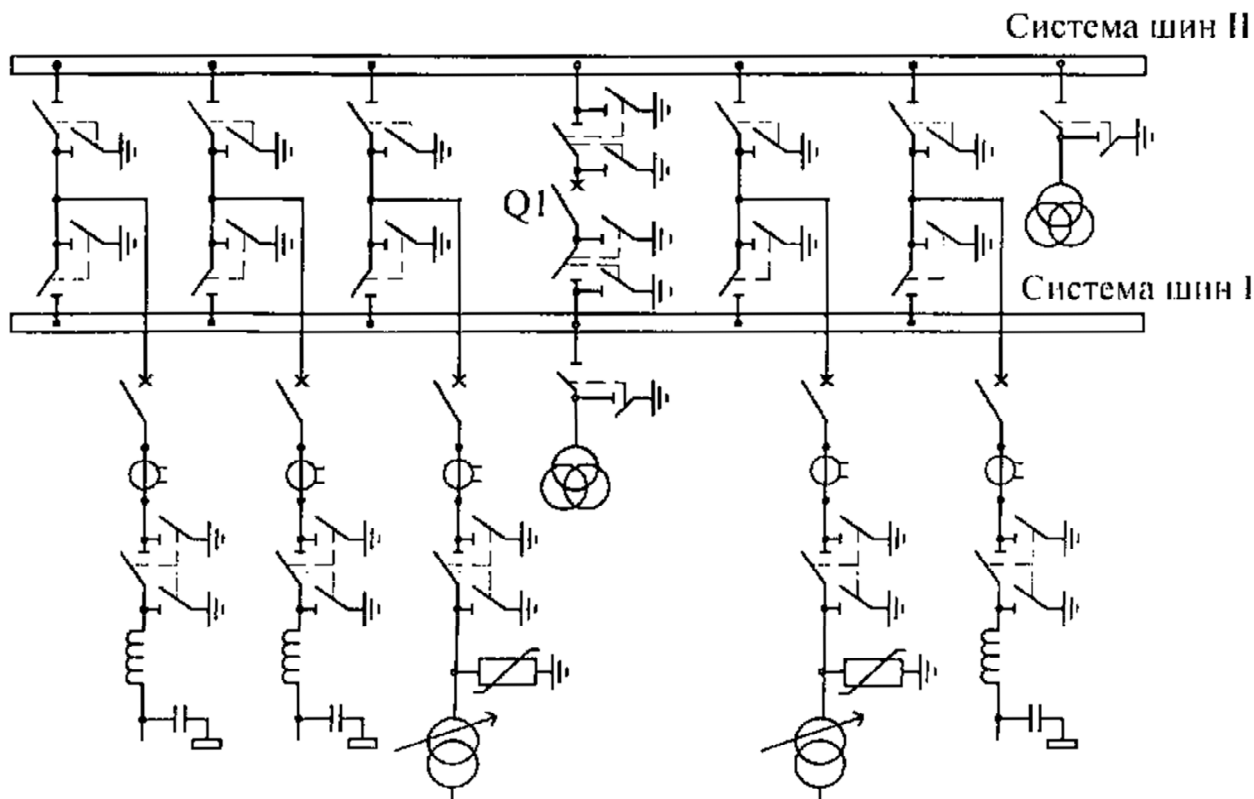


Рис. Схема с двумя системами шин с шинносоединительным выключателем Q1.

Возможны два принципиально разных варианта работы этой схемы. В первом варианте одна система шин является рабочей, вторая — резервной. В нормальном режиме работы все присоединения подключены к рабочей системе шин через соответствующие шинные разъединители. Напряжение на резервной системе шин в нормальном режиме отсутствует, шинносоединительный выключатель отключен. Во втором варианте, который в настоящее время получил наибольшее применение, вторую систему сборных шин используют постоянно в качестве рабочей в целях повышения надежности электроустановки. При этом все присоединения к источникам питания и к отходящим линиям распределяют между обеими системами шин. Шиносоединительный выключатель в нормальном режиме работы замкнут. Схема называется «**две рабочие системы шин**».

Схема с двумя системами шин позволяет производить ремонт одной системы шин, сохраняя в рабочем состоянии все присоединения. Для этого все присоединения переводят на одну систему шин путем соответствующих переключений коммутационных аппаратов. Данная схема является гибкой и достаточно надежной.

Недостатки схемы с двумя системами шин:

- при ремонте одной из систем шин на это время снижается надежность схемы;
- при замыкании в шиносоединительном выключателе отключаются обе системы шин;
- ремонт выключателей и линейных разъединителей связан с отключением на время ремонта соответствующих присоединений;
- сложность схемы, большое число разъединителей и выключателей.

Частые переключения с помощью разъединителей увеличивают вероятность повреждений в зоне сборных шин. Большое число операций с разъединителями и сложная блокировка между выключателями и разъединителями приводят к возможности ошибочных действий обслуживающего персонала. Схему «две рабочие системы шин» допускается применять в РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15, если РУ выполнено из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время.

В РУ 110—220 кВ при числе присоединений более 15 делят сборные шины на секции с установкой в точках деления секционных выключателей (рис.). При этом должно предусматриваться два шиносоединительных выключателя. Таким образом, распределительное устройство делится на четыре части, связанные между собой двумя секционными и двумя шиносоединительными выключателями.

Данная схема называется «**две рабочие, секционированные выключателями системы шин**». Она используется при тех же условиях, что и схема «две рабочие системы шин».

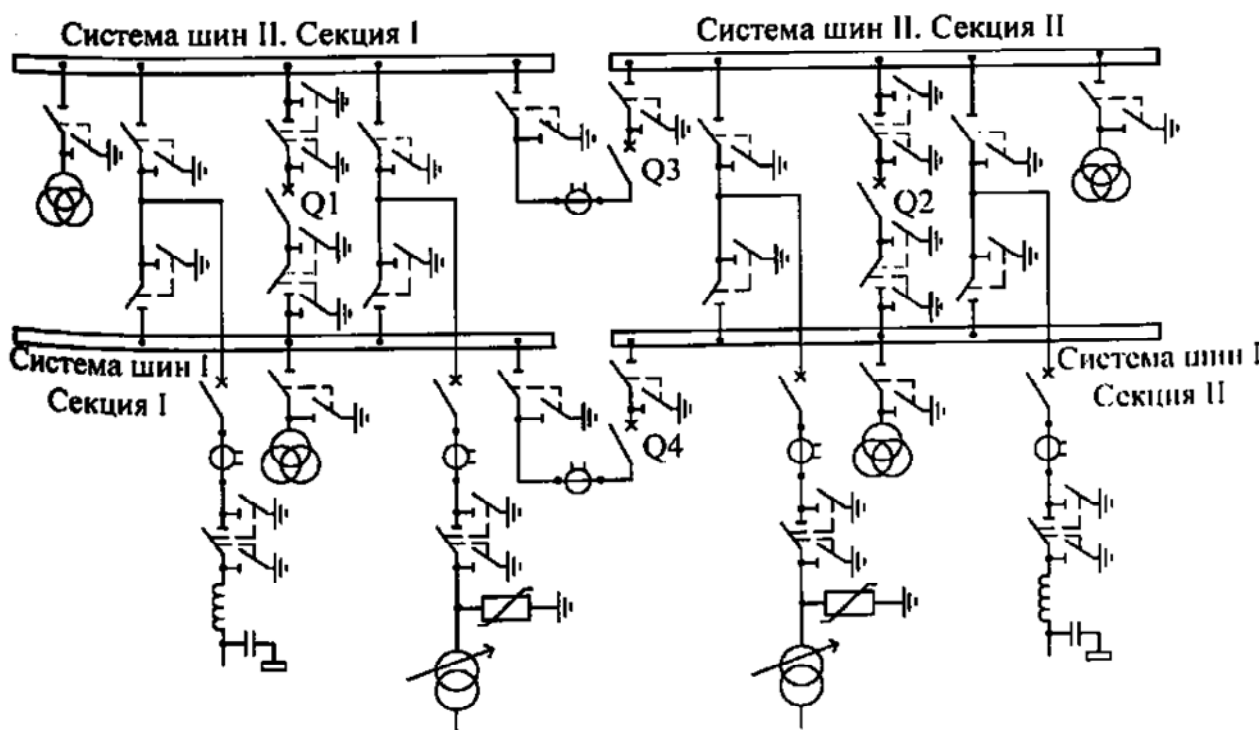


Рис. Схема с двумя секционированными системами шин с двумя шиносоединительными (Q1, Q2) и двумя секционными (Q3, Q4) выключателями

Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным и обходным выключателями обеспечивает возможность поочередного ремонта выключателей без перерыва в работе соответствующих присоединений (рис.). Схема рекомендуется к применению в РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15. В нормальном режиме работы обе системы шин являются рабочими, шиносоединительный выключатель находится во включенном положении.

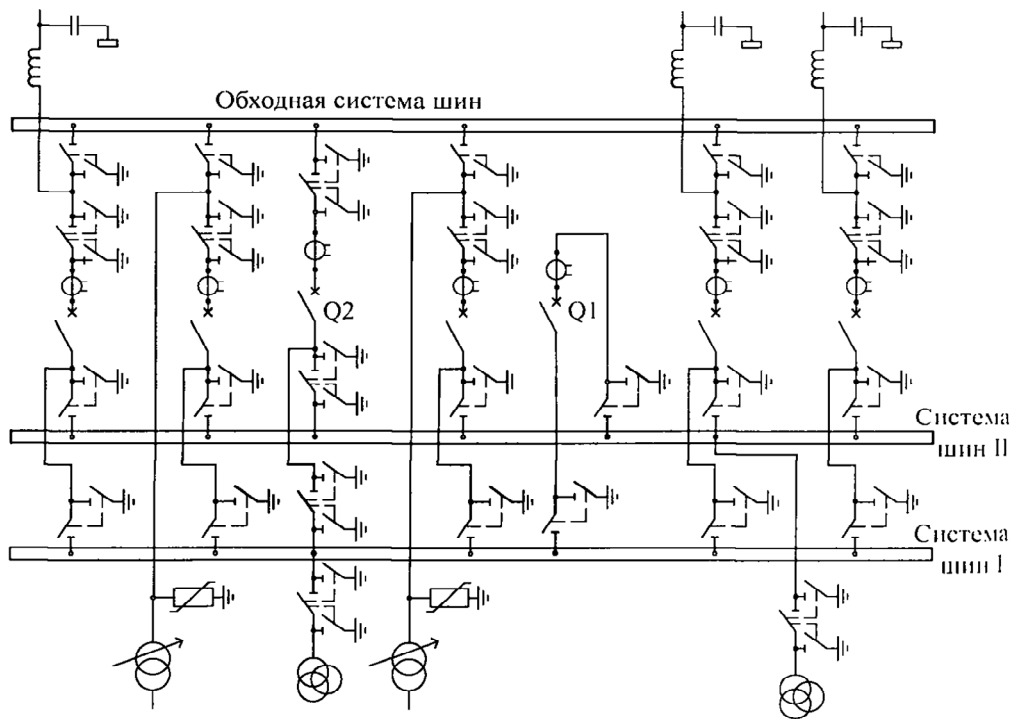


Рис. Схема с двумя системами шин и обходной с шиносоединительным (Q1) и обходным (Q2) выключателями

При числе присоединений более 15 или более 12 и при установке на подстанции трех трансформаторов мощностью 125 МВА и более рекомендуется к применению схема «**две рабочие, секционированные выключателями и обходная системы шин**» с двумя шиносоединительными выключателями и двумя обходными выключателями. Связь между секциями шин обеспечивается через секционные выключатели, которые в нормальном режиме отключены (рис.).

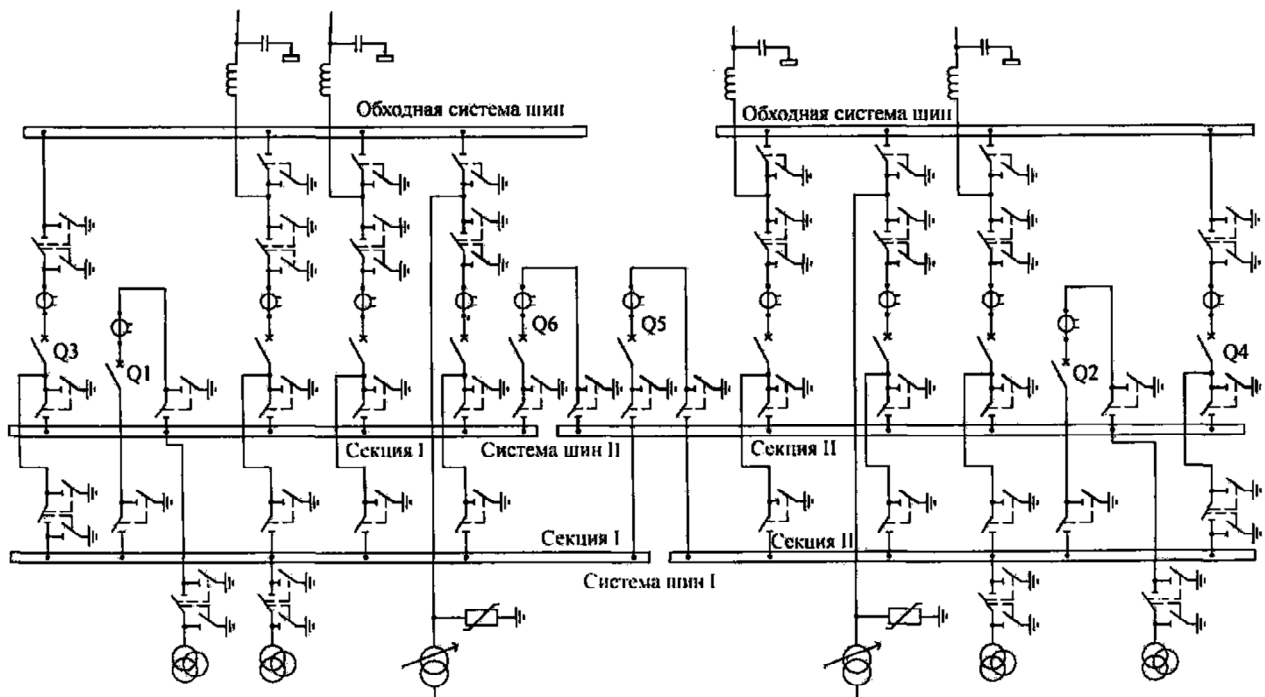


Рис. Схема с двумя системами шин и обходной с двумя шиносоединительными (Q1, Q2) и двумя обходными (Q3, Q4) выключателями (Q5, Q6 — секционные выключатели)

Рекомендации по применению данной схемы распределительных устройств 6—220 кВ приведены в табл.



Таблица. Рекомендации по применению схем распределительных устройств напряжением до 220 кВ включительно

Система сборных шин	Область применения	Номинальное напряжение-индекс схемы
Одиночная система шин	В РП, РУ 10(6) кВ при отсутствии присоединений с электроприемниками первой категории или при наличии резервирования их от других РП, РУ	—
Одна рабочая секционированная выключателем система шин	В РП, РУ 10(6) кВ В РП 35 кВ; в РУ ВН и СН 35 кВ. Допускается применять в РУ 110—220 кВ при пяти и более присоединениях, если РУ выполнено из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время	10(6)-1; 35-9
Две одиночные секционированные выключателями системы шин	В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой или с двухобмоточными трансформаторами и двумя сдвоенными реакторами	10(6)-2
Четыре одиночные секционированные системы шин	В РУ 10(6) кВ с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой и с двумя сдвоенными реакторами	10(6)-3
Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин	В РУ 110—220 кВ при пяти и более присоединениях	12
Две рабочие системы шин	Допускается применять при числе присоединений от 5 до 15 в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время	
Две рабочие и обходная системы шин	1. В РУ 10 кВ для энергоемких предприятий с электроприемниками I категории (например, для предприятий цветной металлургии). 2. В РУ 110—220 кВ при числе присоединений от 5 до 15	13
Две рабочие, секционированные выключателями системы шин	Допускается применять при числе присоединений более 15 в РУ 110—220 кВ из герметизированных ячеек с элегазовой изоляцией, а также в РУ 110 кВ с выкатными выключателями при условии замены выключателя в удовлетворяющее эксплуатацию время	-
Две рабочие, секционированные выключателем и обходная системы шин с двумя шиносоединительными и двумя обходными выключателями	1. В РУ 110—220 кВ при числе присоединений более 15. 2. В РУ 220 кВ при трех, четырех трансформаторах мощностью 125 МВ-А и более при общем числе присоединений от 12 и более	14

\* Первая цифра означает номинальное напряжение, вторая — индекс схемы.

### Схемы распределительных устройств напряжением 35 кВ и выше без сборных шин.

Применяются следующие схемы распределительных устройств: блочные; мостиковые; заход—выход; четырехугольник.

**Блочные схемы.** Блочной схемой называется схема «блок линия—трансформатор» без сборных шин и связей с выключателями между двумя блоками на двухтрансформаторных подстанциях (между двумя блоками может устанавливаться неавтоматическая перемычка из разъединителей). Блочные схемы применяются на стороне ВН тупиковых подстанций напряжением до 500 кВ включительно, ответвительных и проходных подстанций, присоединяемых к одной или к двум линиям, до 220 кВ включительно.

Схемы «блок линия—трансформатор» могут выполняться:

- без коммутационных аппаратов (схема глухого присоединения) или только с разъединителем;
- с отделителем;
- с выключателем.

Схема «блок линия—трансформатор без коммутационных аппаратов» применяется при напряжениях 35—330 кВ и питании подстанции по радиальной схеме. Использование данной схемы целесообразно в случаях, когда подстанция размещается в зоне сильного промышленного загрязнения (рис. а). Для питания трансформаторов следует использовать кабельные линии высокого напряжения, что позволяет исключить воздействие окружающей среды на изоляцию вводов даже при открытой установке трансформаторов.

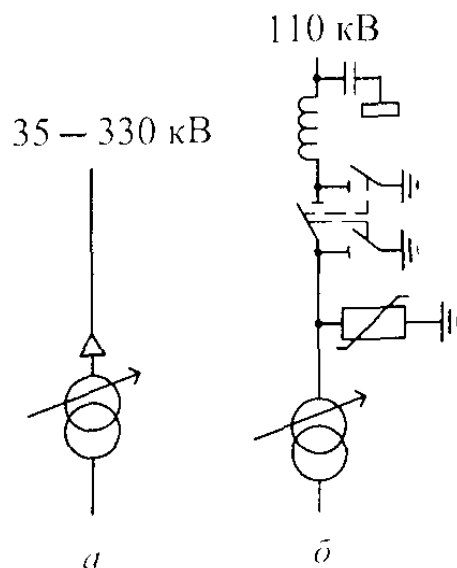


Рис. Схема «блок линия—трансформатор»: а — без коммутационных аппаратов с кабельным вводом (схема глухого присоединения); б — с разъединителем

Для защиты трансформатора напряжением 330 кВ любой мощности, а также трансформатора напряжением 110, 220 кВ мощностью более 25 МВА предусматривается передача отключающего сигнала на головной выключатель, который обеспечивает отключение питающей линии в случае повреждения трансформатора. Выбор способа передачи сигнала зависит от длины питающей линии, мощности трансформатора, требований по надежности отключения. При мощности трансформатора 25 МВА и менее, а также при кабельном вводе на трансформатор передача отключающего сигнала может не предусматриваться.

Схема «блок линия—трансформатор с разъединителем» применяется в тех же случаях, что и предыдущая (рис. б).

На схемах, приведенных на рис., для упрощения показан один блок, в случае двухтрансформаторных подстанций число таких блоков удваивается. Перемычка между

блоками не предусматривается. Это рекомендуется использовать в условиях интенсивного загрязнения и при ограниченной площади застройки.

Схему «блок линия—трансформатор с отделителем»<sup>2</sup> допустимо применять на напряжении 110 кВ и трансформаторах мощностью до 25 МВА при необходимости автоматического отключения поврежденного трансформатора от линии, питающей несколько подстанций (рис. а). Отделители на стороне ВН подстанций могут применяться как с короткозамыкателями, так и с передачей отключающего сигнала на выключатель головного участка магистрали.

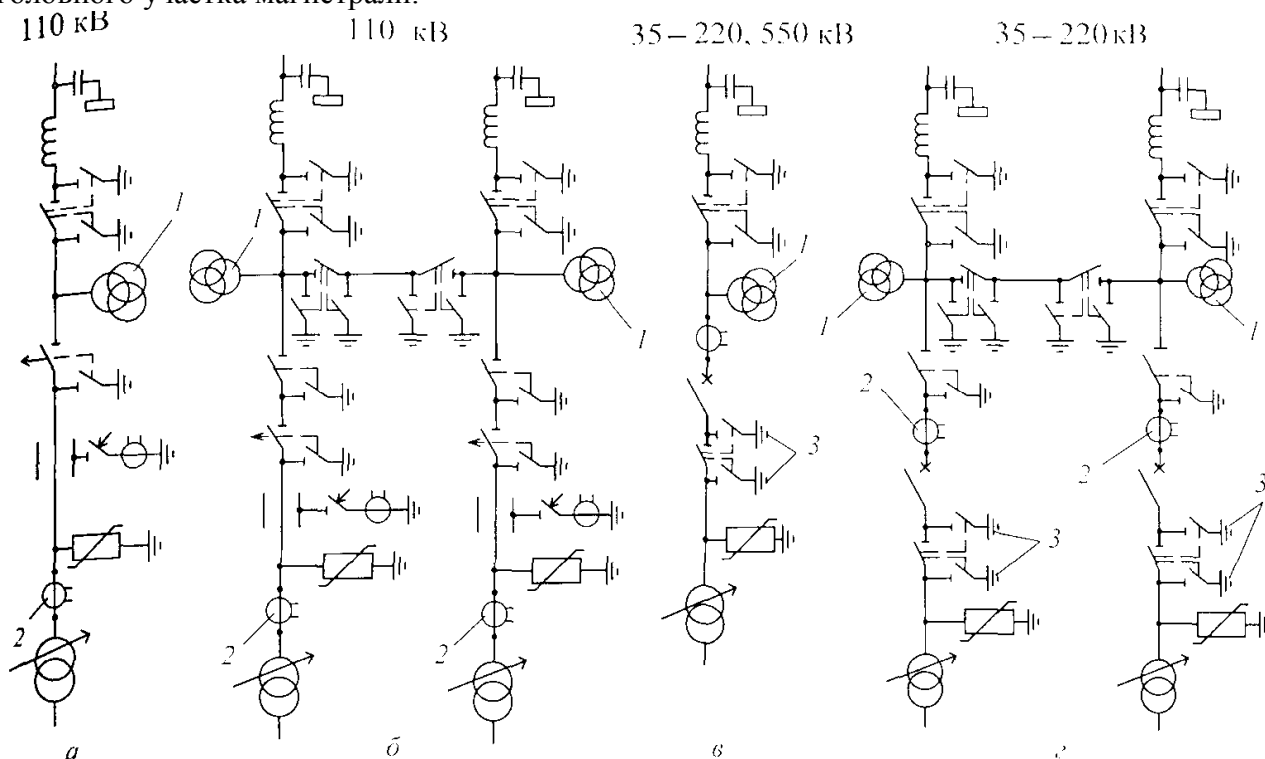


Рис. Схема «блок линия—трансформатор»: а — с отделителем; б — два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линии; в — с выключателем; г — два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии; 1, 2 — трансформаторы тока и напряжения, установка которых должна быть обоснована; 3 — разъединители, которые устанавливаются при напряжениях 110, 220 кВ и наличии собственного питания

На двухтрансформаторных подстанциях используется схема «два блока линия—трансформатор» с отделителем и неавтоматической перемычкой со стороны линий (рис. б). В нормальном режиме работы один из разъединителей в перемычке должен быть разомкнут.

**Запрещается применять схему с отделителем** в случае:

- распределительных устройств, расположенных в районах холодного климата по ГОСТ 15150—69, а также в районах, где часто наблюдается гололед;
- сейсмичности более 6 баллов;
- воздействия отделителя и короткозамыкателя, которое приводит к выпадению из синхронизма синхронных двигателей или нарушению технологического процесса;
- использования подстанции на транспорте и в нефте- и газодобывающей промышленности;
- применения трансформаторов, присоединенных к линиям, имеющим ОАПВ.

<sup>2</sup> В соответствии с «Рекомендациями по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35—750 кВ» (Издательство НЦ ЭНАС, 2004 г.) при проектировании применять схему с отделителем и короткозамыкателем не рекомендуется, а при реконструкции и техническом перевооружении подстанций предусматривать замену этих аппаратов на выключатели.

Схема «блок линия—трансформатор с выключателем» применяется на подстанциях напряжением 35—220 и 500 кВ в тех случаях, когда нельзя использовать более простые и дешевые схемы первичной коммутации подстанций (рис. в). На двухтрансформаторных подстанциях напряжением 35—220 кВ применяется схема «блок линия—трансформатор» с выключателем и неавтоматической перемычкой со стороны линии (рис. з). Блочные схемы просты, экономичны, но при повреждениях в линии или в трансформаторе автоматически отключаются линия и трансформатор.

В схеме «мостик» линии или трансформаторы на двух-, трехтрансформаторных подстанциях соединяются между собой с помощью выключателя. Данная схема применяется на стороне ВН 35—220 кВ подстанций при необходимости секционирования выключателем линий или трансформаторов мощностью до 63 МВА включительно. На напряжениях 110 и 220 кВ схема мостика применяется, как правило, с ремонтной перемычкой, которая при соответствующем обосновании может не предусматриваться. Ремонтная перемычка позволяет выполнять ревизию любого выключателя со стороны линий или трансформаторов при сохранении в работе линий и трансформаторов. Перемычка обычно не предусматривается при электрификации сельских сетей напряжением 35 кВ. Схема «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов» применяется в тех же случаях, что и блочные схемы с «отделителями» (рис.).

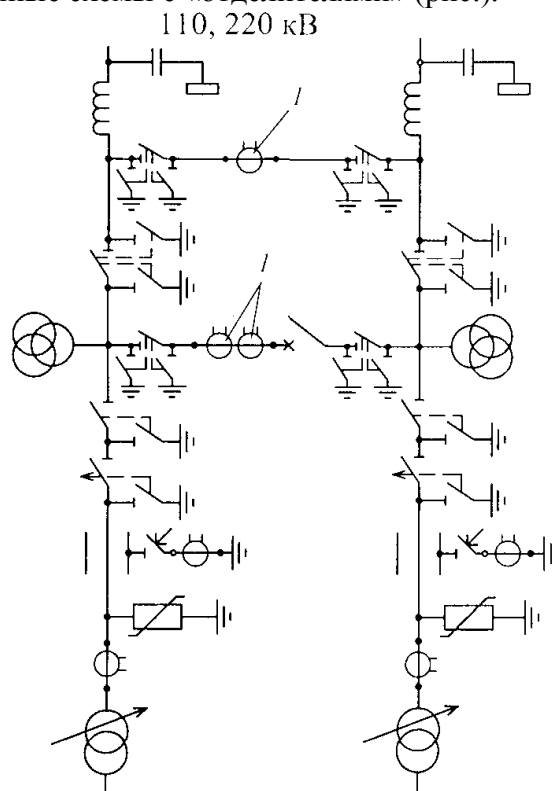


Рис. Схема «мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов»

Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» может применяться на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях напряжением 35—220 кВ (рис.). На тупиковых и ответвительных подстанциях ремонтная перемычка и перемычка с выключателем нормально разомкнуты. При аварии на одной из линий автоматически отключается выключатель со стороны поврежденной линии и включается выключатель в перемычке, оба трансформатора остаются работающими. В случае аварии на одном из трансформаторов отключение выключателя приводит к отключению трансформатора и питающей линии. Отключение линии при повреждении трансформатора является недостатком данной схемы. На проходных подстанциях перемычка с выключателем нормально замкнута, через нее осуществляется транзит мощности.

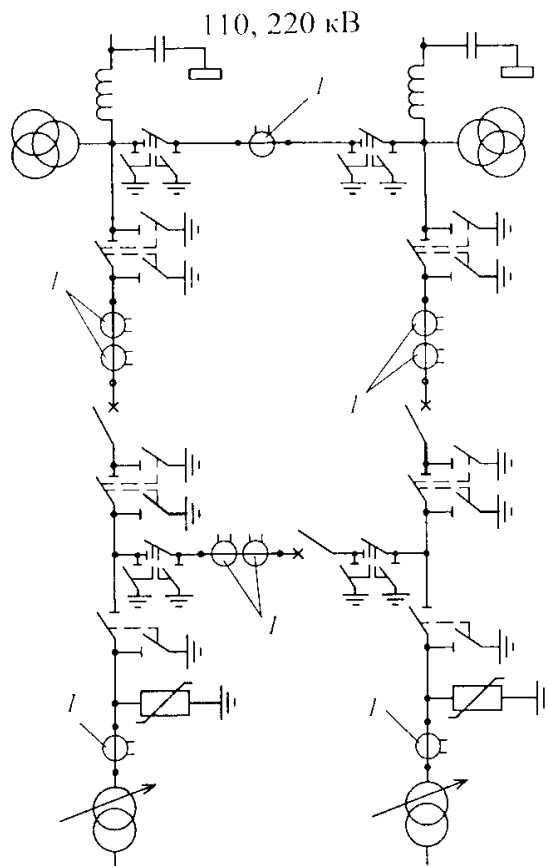
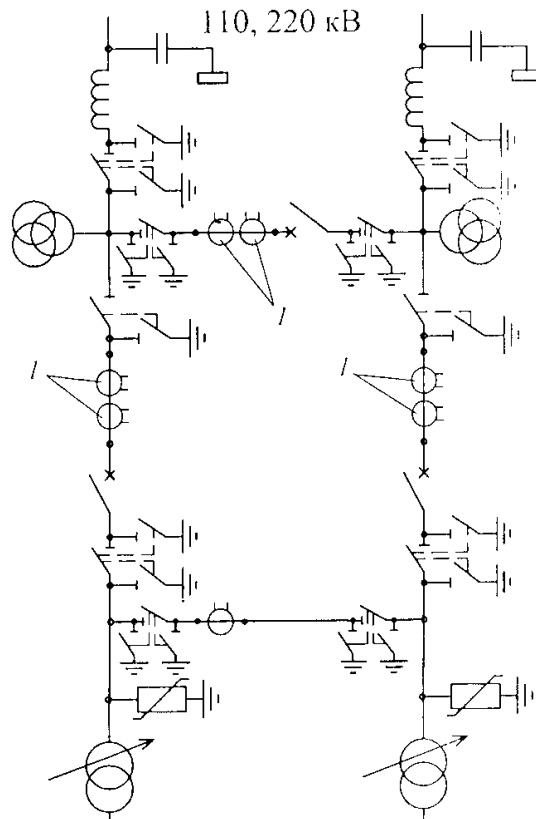


Рис. Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»

Схема «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов» (рис.) применяется в тех же случаях, что и предыдущая схема.



Особенность данной схемы состоит в том, что при аварии в линии автоматически отключается поврежденная линия и трансформатор. При аварии в трансформаторе после автоматических переключений в работе остаются две линии и два источника питания.

Учитывая, что аварийное отключение трансформаторов происходит сравнительно редко, то более предпочтительна схема, приведенная ранее.

Схема «заход—выход» применяется на проходных подстанциях напряжением 110—220 кВ (рис.). В схеме устанавливается два выключателя со стороны линии, которые позволяют отключать по преклонный участок линии.

Данная схема может применяться как с ремонтной перемычкой, так и без нее.

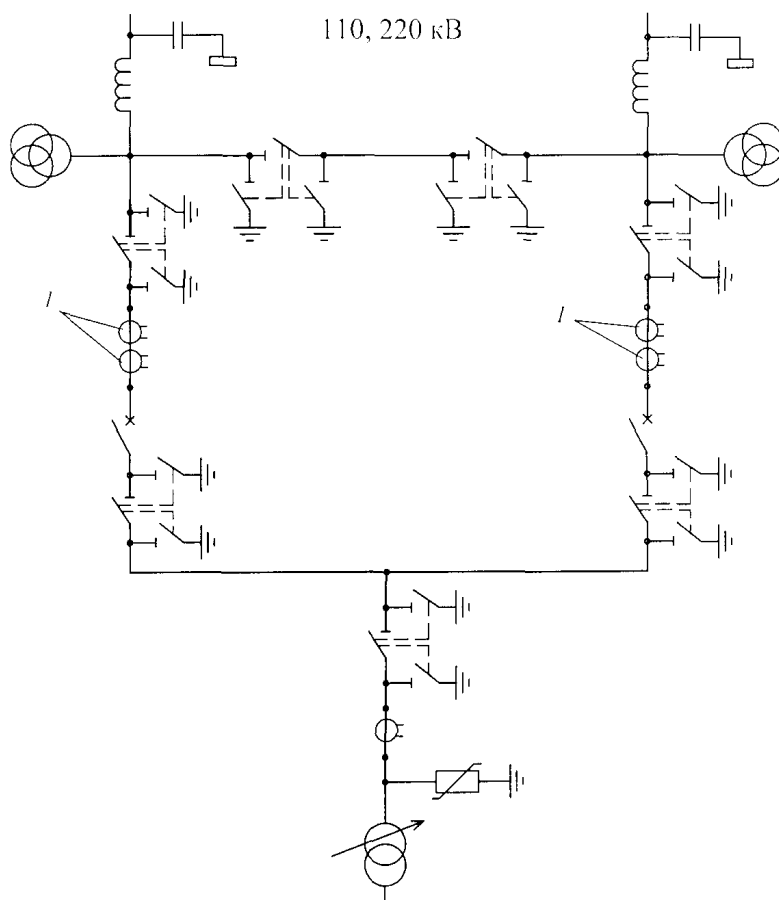


Рис. Схема «заход—выход»

Схема «четырёхугольник» применяется в РУ 110—750 кВ при четырех присоединениях (две линии и два трансформатора) и необходимости секционирования транзитной линии при мощности трансформаторов от 125 МВА и более при напряжениях 110—220 кВ и любой мощности при напряжениях 330 кВ и выше (рис.).

В схеме со стороны линии установлены через развилку два выключателя, подключаемых к разным трансформаторам. Данная схема обладает более высокой сложностью по сравнению со схемой «мостика», так как авария в линии или в трансформаторе приводит к отключению только повреждение элемента. Недостаток схемы - при отключении одной из линий трансформаторы получают питание по одной линии от одного источника питания.

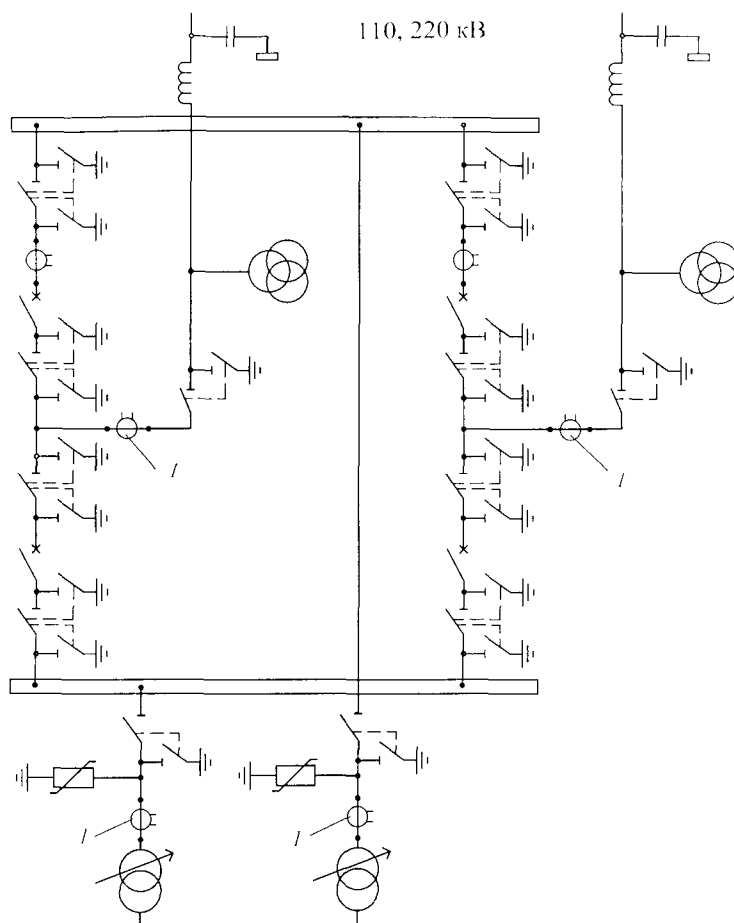


Рис. Схема четырехугольника

Рекомендации по применению схем приведены в табл.

Таблица. Рекомендации по применению схем распределительных устройств без сборных шин напряжением 35 кВ и выше трансформаторных подстанций

Схема	Область применения	Индекс схемы
<b>Блочные схемы</b>		
Блок линия - трансформатор без коммутационных аппаратов	При напряжениях 35—330 кВ и радиальной схеме питания подстанции в условиях сильного промышленного загрязнения окружающей среды	1
Блок линия - трансформатор с разъединителем	При напряжениях 35—330 кВ и радиальной схеме питания подстанции	1
Блок линия - трансформатор с отделителем	При напряжении 110 кВ и магистральной схеме питания подстанции (кроме проходных) с трансформаторами мощностью до 25 МВА	3
Два блока линия - трансформатор с отделителем и неавтоматизированной перемычкой	То же	4
Блок линия—трансформатор с выключателем	При напряжении 35—220, 500 кВ на тупиковых и ответвительных подстанциях	3Н
Два блока линия - трансформатор с выключателем и неавтоматизированной перемычкой со стороны линий	При напряжении 35—220 кВ на тупиковых и ответвительных подстанциях	4Н

<b>Мостиковые схемы</b>		
Мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов	При магистральной схеме питания и напряжении 110 кВ на подстанциях с трансформаторами мощностью до 25 МВА	5
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	При напряжениях 35—220 кВ на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях при необходимости секционирования линий и мощности трансформаторов до 63 МВА включительно	5Н
Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой в цепях трансформаторов	При напряжении 35—220 кВ на тупиковых, ответвительных и проходных подстанциях при необходимости секционирования трансформаторов при мощности трансформаторов до 63 МВА включительно	5АН
<b>Схемы «заход—выход» и четырехугольника</b>		
Заход—выход	На проходных подстанциях при напряжении 110, 220 кВ	6
Четырехугольник	В РУ подстанций при четырех присоединениях и необходимости секционирования транзитных линий и мощности трансформаторов от 125 МВ-А при напряжении 110, 220 кВ и любой мощности при напряжении 330—750 кВ	7

### **Распределительные подстанции и распределительные устройства напряжением 10(6) кВ.**

#### Присоединение распределительных устройств напряжением 6... 10 кВ к понижающим трансформаторам.

Для понижающих подстанций, на которых распределительные устройства напряжением 6...10 кВ присоединяются к обмотке вторичного напряжения трансформатора, практически все схемы (табл.) могут быть выполнены с использованием комбинаций из схем, приведенных ниже.

РУ 10(6) кВ трансформаторных подстанций выполняются с одиночной секционированной, двумя или четырьмя одиночными секционированными системами шин. На крупных энергоёмких предприятиях с электроприемниками высокой категорийности могут применяться распределительные устройства с двумя рабочими системами шин и двумя рабочими системами шин с обходной.

Распределительные устройства с одиночной системой шин с любым числом секций и распределительные пункты выполняются комплектными. Секции сборных шин работают раздельно.

*Схемы с двумя системами шин.*

Схема с двумя системами сборных шин обладает гибкостью и универсальностью, она позволяет:

- ремонтить сборные шины без перерыва питания потребителей;
- быстро восстанавливать питание потребителей при повреждении одной из систем шин;
- выделять одну из систем шин для проведения испытаний оборудования и линий;
- осуществлять различные группировки цепей и присоединений.



**Схемы присоединения секций сборных шин к обмотке трансформатора напряжением 6... 10 кВ**

Схема	Описание схемы	Характеристика схемы
	Присоединение одной секции сборных шин к обмотке трансформатора или к параллельно соединенным ветвям трансформатора с расщепленной обмоткой напряжением 6... 10 кВ без реактирования отходящих линий	В качестве вводных, межсекционных и линейных выключателей используются выключатели с одинаковым током отключения силой 20 или 31,5 кА
	Присоединение двух секций сборных шин к трансформатору с расщепленной обмоткой напряжением 6... 10 кВ без реактирования отходящих линий	Схема позволяет уменьшить отрицательное влияние нагрузок одной ветви на колебания напряжения в другой при резкопеременных нагрузках
	Присоединение одной секции сборных шин к обмотке трансформатора или к параллельно соединенным ветвям трансформатора с расщепленной обмоткой напряжением 6... 10 кВ с реактированием отходящих линий	На отходящих линиях от сборных шин РУ устанавливают групповые реакторы, к каждому из которых присоединяют от одной до четырех-пяти линий
	Присоединение двух секций сборных шин к трансформатору с расщепленной обмоткой напряжением 6... 10 кВ с реактированием отходящих линий	При наличии электроприемников, ухудшающих качество электроэнергии в питающей сети, их влияние уменьшается

Каждый выключатель может быть присоединен шинными разъединителями к любой системе шин. Схема с двумя системами шин на промышленных предприятиях применяется на мощных подстанциях ответственного назначения, например на крупных узловых подстанциях больших заводов с развитой электрической сетью, с большим числом присоединений и наличием связей и транзитных линий.

Также она применяется в тех случаях, когда это требуется по режиму эксплуатации, например при необходимости разделения источников питания или выделения отдельных потребителей. При применении двойной системы шин при напряжении 6... 10 кВ одна из них обычно разделяется на секции по числу вводов или понизительных трансформаторов, а другая выполняется несекционированной.

На рис. приведена схема мощной ГПП с двойной системой шин на вторичном напряжении. На схеме показаны индивидуальные реакторы на линиях напряжением 6 кВ.

Распределительные устройства с двумя системами шин дороги, сложны в эксплуатации и требуют сложных блокировок. При широком применении комплектных распределительных устройств (КРУ) также ограничивается целесообразность применения двойной системы шин, так как заводские КРУ изготавливаются преимущественно с одной системой шин. Поэтому даже на крупных подстанциях применяется одиночная секционированная система с автоматикой.

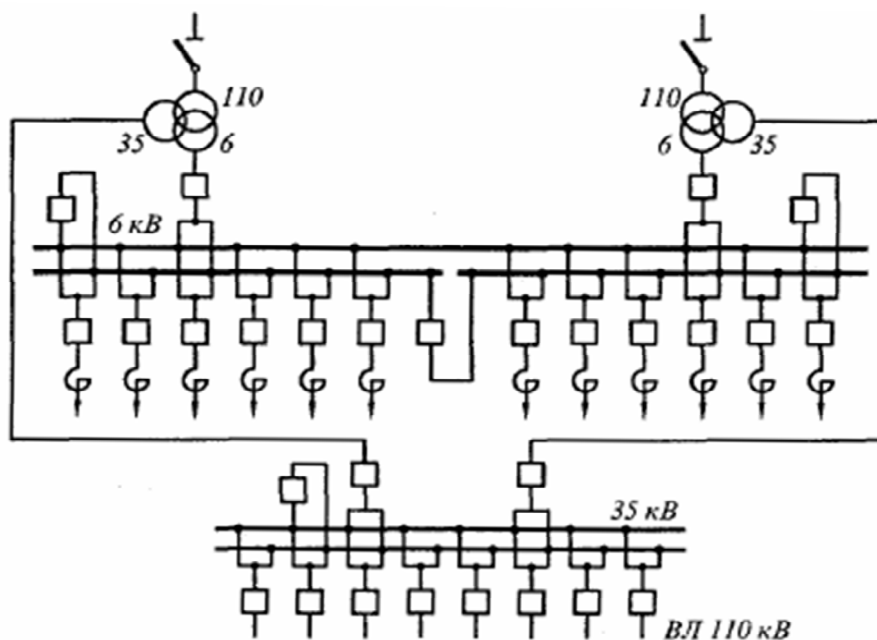


Схема мощной ГПП с двойной системой шин на вторичном напряжении

### Схемы распределительных подстанций напряжением выше 1 кВ

Распределительные подстанции напряжением 10(6) кВ в соответствии с ПУЭ называются распределительными пунктами (РП). Последние широко применяются в системах электроснабжения промышленных предприятий, городов, поселков, агропромышленных комплексов. Распределительные пункты, как правило, выполняются с одиночной секционированной или несекционированной системой шин.

Распределительные пункты в системах электроснабжения промышленных предприятий рекомендуется сооружать для удаленных от ГПП потребителей [компрессорных, насосных станций, производственного корпуса с несколькими трансформаторными подстанциями 10(6) кВ]. При числе отходящих линий 10(6) кВ менее восьми целесообразность сооружения РП должна быть обоснована.

Для городских сетей целесообразность сооружения РП определяется следующим: нагрузка РП на расчетный срок должна составлять на шинах 10 кВ не менее 7 МВт, на шинах 6 кВ — не менее 4 МВт.

На распределительных подстанциях РП напряжением 6...10 кВ наибольшее распространение получили схемы коммутации с одной системой шин. От РП получают питание трансформаторы, электродвигатели напряжением выше 1 кВ, электропечи и другие установки с электроприемниками напряжением выше 1 кВ.

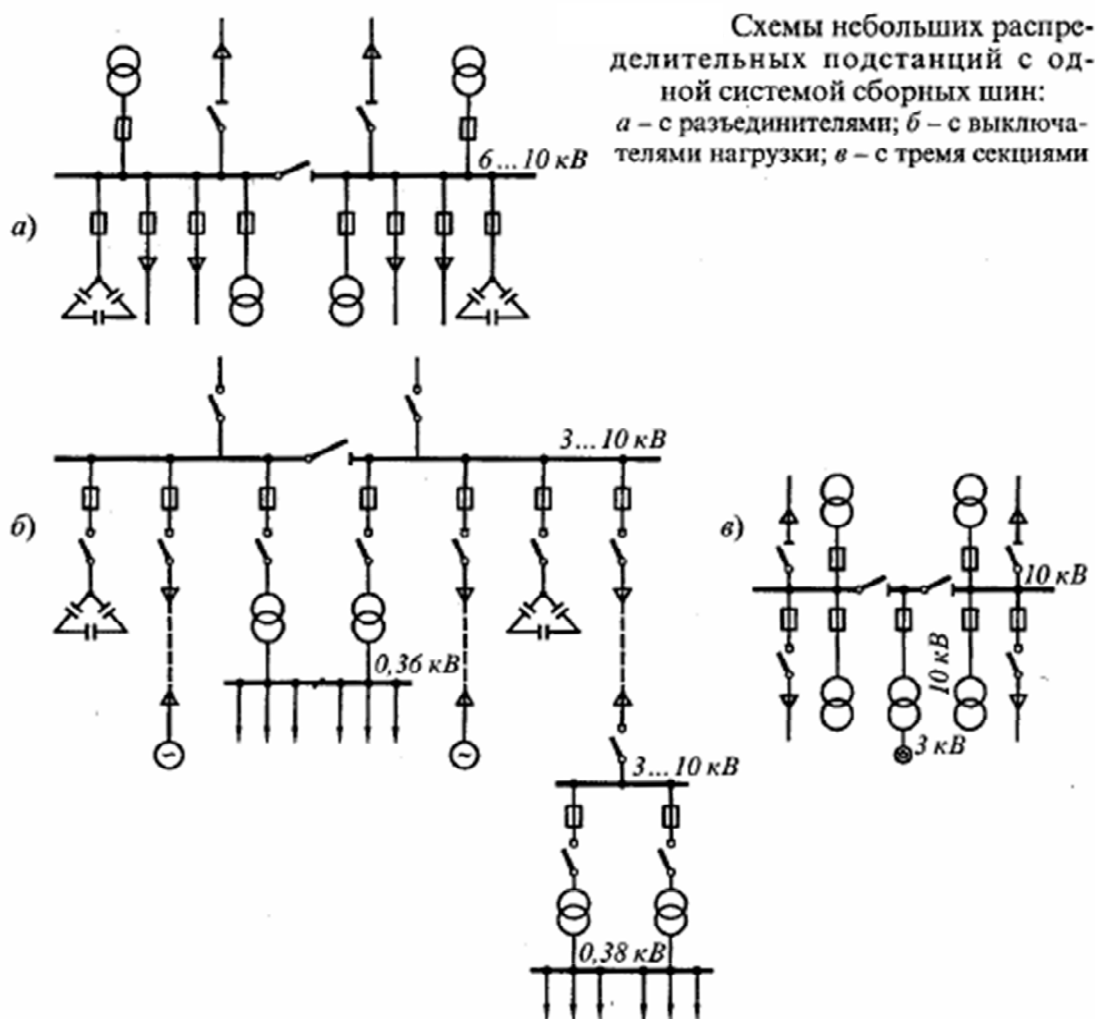
При одиночной системе шин надежность питания повышается вследствие сокращения числа коммутационных операций и возможных ошибок. Разъединители здесь не являются оперативными и служат для снятия напряжения с выключателя на время его ревизии и ремонта. Поэтому серьезных последствий от ошибок при оперировании с ними не бывает, т.к. они снабжены надежной и простой механической блокировкой с выключателями. Одиночные системы шин бывают секционированные и несекционированные.

Для потребителей первой и второй категории применяются только секционированные схемы при помощи разъединителя или выключателя. Число секций определяется схемой электроснабжения, с одной стороны, и характером подключенных электроприемников, с другой стороны. Каждая секция РП питается отдельной линией. Если одна из питающих линий отключается и питаемая ее секция обесточивается, то ее питание восстанавливается

путем включения секционного аппарата. Параллельная работа линий применяется в виде редкого исключения.

На рис. приведены схемы небольших РП, секционированных при помощи разъединителей. Крупный ответственный двигатель на рис. *в* выделен на среднюю секцию, что обеспечивает его бесперебойное питание при любых режимах работы РП.

При применении секционных выключателей можно осуществить автоматическое включение резерва. Иногда АВР применяется на вводных выключателях.



Ниже на рис. даны примеры выполнения схем распределительных подстанций с одной системой шин, секционированной при помощи выключателей:

1) схема ответственной распределительной подстанции средней мощности, секционированной при помощи выключателя, с АВР на секционном выключателе напряжением 6... 10 кВ и на секционном автомате напряжением 0,4 кВ вторичной стороны двухтрансформаторной подстанции, питаемой от разных секций данной РП;

2) схема крупной подстанции с АВР на секционном выключателе с применением КРУ с выдвижными выключателями. РП предназначена для питания электродвигателей на напряжение выше 1 кВ.

3) схемы узловых распределительных подстанций на напряжение 110...330 кВ. Эти подстанции получают электроэнергию от энергосистемы и распределяют ее при помощи глубоких вводов по предприятию. Питающие линии, а также линии, проходящие вне загрязненных зон предприятия, - воздушные; линии же, питающие подстанции глубоких вводов, расположенные в загрязненных зонах, - кабельные. Подстанция, схема которой приведена на рис. *б*, предназначена для очень крупного предприятия. Она имеет автотрансформатор.

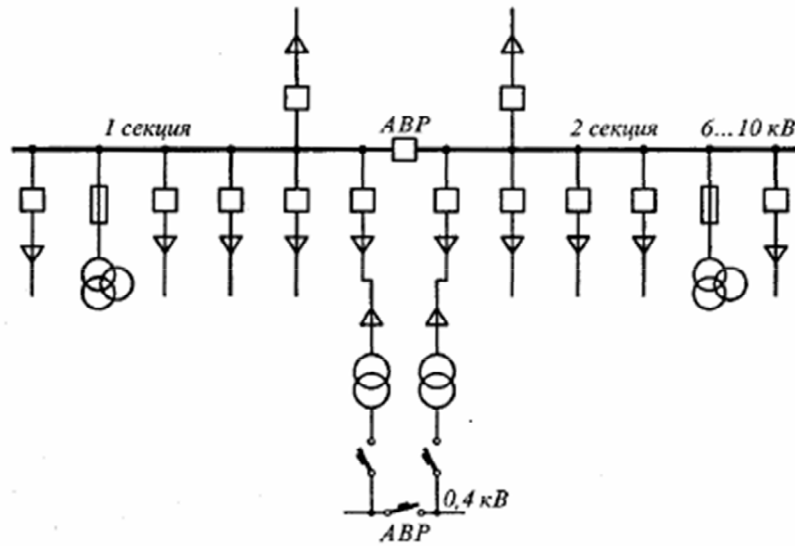


Схема ответственной распределительной подстанции средней мощности, секционированной выключателем

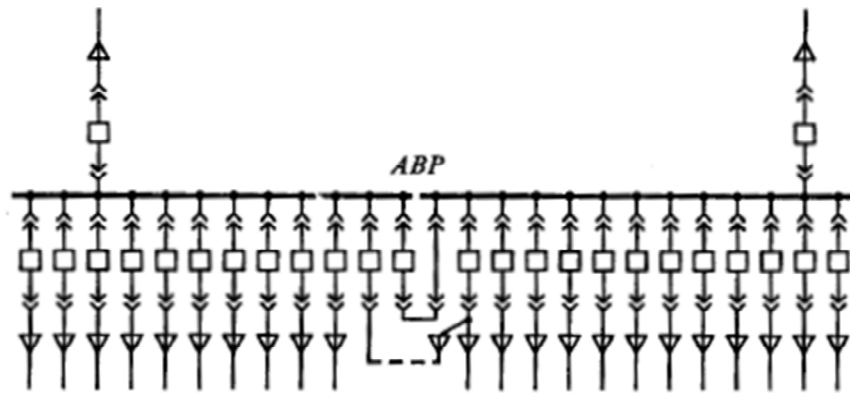
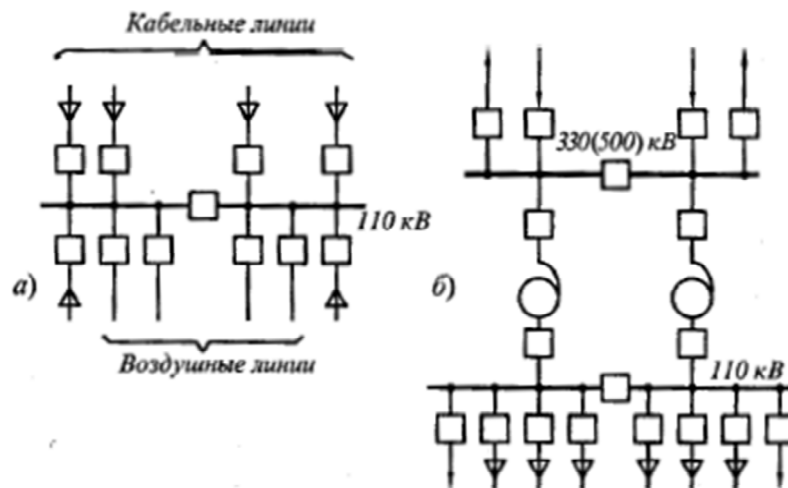


Схема крупной распределительной подстанции с АВР на секционном выключателе с применением КРУ



Схемы узловых распределительных подстанций, питаемых от электрической системы:  
 а – небольшой мощности, чисто распределительная; б – крупная со сборными шинами на первичном напряжении

### **Трансформаторные подстанции напряжением 10(6) кВ.**

В промышленных электрических сетях трансформаторные подстанции 10(6) кВ называются цеховыми. Подстанции могут быть отдельно стоящими, пристроенными, встроенными и внутрицеховыми.

*Отдельно стоящие подстанции* располагаются на территории предприятия на некотором расстоянии от цеха и предназначены для питания одного или нескольких цехов предприятия. Такие подстанции обычно применяются в тех случаях, когда по условиям среды или специфики технологического процесса подстанцию нельзя приблизить к цеху. Например, на некоторых взрывоопасных производствах и химических предприятиях, а также в случаях, когда подстанция применяется для питания нескольких цехов небольшой мощности.

*Пристроенные подстанции* применяются в тех случаях, когда по состоянию окружающей среды или специфики технологического процесса подстанцию нельзя расположить внутри цеха.

*Пристроенные и внутрицеховые подстанции* можно максимально приблизить к центру электрических нагрузок. Для таких подстанций обычно применяют комплектные трансформаторные подстанции промышленного типа внутренней установки, которые устанавливаются в цехах открыто с использованием простейших сетчатых ограждений.

Цеховые трансформаторные подстанции предназначены для питания силовых и осветительных электроприемников. В случаях, когда первичное напряжение трансформатора составляет 0,69 кВ, питание осветительных сетей осуществляется от отдельных трансформаторов.

Число трансформаторов цеховой ТП зависит от требований надежности питания потребителей. Питание электроприемников первой категории следует предусматривать от двух- и трехтрансформаторных подстанций. Трехтрансформаторные подстанции рекомендуется применять в случаях, когда возможно равномерное распределение подключаемой нагрузки по секциям РУНН подстанции.

Двух- и трехтрансформаторные подстанции рекомендуется также применять для питания электроприемников второй категории. При сосредоточенной нагрузке предпочтение следует отдавать трехтрансформаторным подстанциям. Однотрансформаторные подстанции могут быть применены для питания электроприемников второй категории, если требуемая степень резервирования потребителей обеспечивается линиями низкого напряжения от другого трансформатора и время смены вышедшего из строя трансформатора не превышает сутки.

При сосредоточенной нагрузке электроприемников второй категории значительной мощности может оказаться целесообразным сооружение цеховой ТП, на которой устанавливается несколько полностью загруженных трансформаторов и один резервный трансформатор, способный заменить любой из трансформаторов группы с помощью трансферной системы шин. Использование данной подстанции целесообразно, если число полностью загруженных трансформаторов 6 и более.

Питание отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (компрессорных, насосных станций и т. п.) рекомендуется выполнять от двухтрансформаторных подстанций.

Для питания электроприемников третьей категории рекомендуется применять однотрансформаторные подстанции, если перерыв электроснабжения, необходимый для замены поврежденного трансформатора, не превышает сутки. При значительной сосредоточенной нагрузке электроприемников третьей категории вместо двух однотрансформаторных подстанций может быть установлена одна двухтрансформаторная подстанция без устройства АВР с полной загрузкой трансформатора.

Мощность трансформаторов двух- и трехтрансформаторных подстанций определяется таким образом, чтобы при отключении одного трансформатора было обеспечено питание требующих резервирования электроприемников в послеаварийном режиме с учетом перегрузочной способности трансформатора.

Если нагрузка равномерно распределена по площади цеха, то выбор единичной мощности трансформатора при напряжении питающей сети 0,4 кВ определяется следующим образом:

- при плотности нагрузки до  $0,2 \text{ (кВА)/м}^2$  — 1000, 1600 кВА;
- при плотности нагрузки  $0,2 — 0,5 \text{ (кВА)/м}^2$  — 1600 кВА;
- при плотности нагрузки более  $0,5 \text{ (кВА)/м}^2$  — 2500, 1600 кВА.

Для энергоемких производств при значительном количестве цеховых ТП рекомендуется унифицировать единичные мощности трансформаторов.

Схемы соединения обмоток трансформаторов. Трансформаторы цеховых ТП мощностью 400—2500 кВА выпускаются со схемами соединения обмоток «звезда—звезда» с допустимым током нулевого вывода, равным 25 % номинального тока трансформатора, или со схемой «треугольник—звезда» — 75 % номинального тока трансформатора. По условиям надежности действия защиты от однофазных коротких замыканий в сетях напряжением до 1 кВ и возможности подключения несимметричных нагрузок предпочтительным является трансформатор со схемой соединения обмоток «треугольник—звезда».

Выбор исполнения трансформатора по способу охлаждения обмоток (масляный, сухой, заполненный негорючим жидким диэлектриком) зависит от условий окружающей среды, противопожарных требований, объемно-планировочных решений производственного здания.

Распределительное устройство со стороны высокого напряжения подстанции для КТП промышленного типа выполняется обычно в виде высоковольтного шкафа без сборных шин со встроенными в шкаф коммутационными аппаратами или без них (глухой ввод). Высоковольтный шкаф называется устройством со стороны высшего напряжения подстанции (УВН).

#### Присоединение цеховых трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6...10 кВ

На цеховых трансформаторных подстанциях напряжением 6...10/0,4 кВ применяются схемы без сборных шин.

При радиальном питании по схеме блока линия - трансформатор обычно применяется глухое присоединение трансформаторов на стороне высшего напряжения.

При питании по магистрали на вводе к трансформатору в большинстве случаев устанавливаются выключатели нагрузки или разъединители.

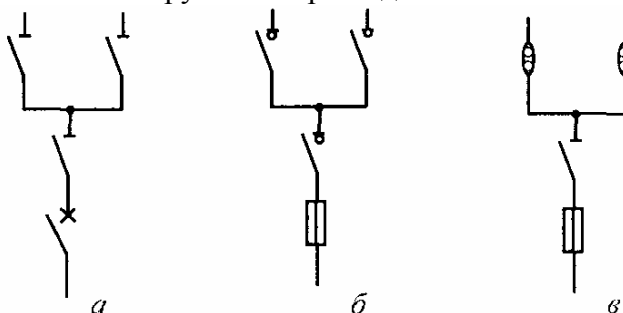


Рис. Схемы УВН цеховых подстанций при магистральной схеме питания ТП: *а* — с разъединителями на вводе и выводе, разъединителем и выключателем в цепи трансформатора; *б* — с выключателями нагрузки на вводе и выводе, выключателем нагрузки и предохранителями в цепи трансформатора; *в* — с шинными накладками на вводе и выводе, разъединителем и предохранителями в цепи трансформатора

Установка отключающего аппарата перед цеховым трансформатором при магистральной схеме питания обязательна. В качестве отключающих аппаратов могут применяться разъединители с предохранителями, выключатели нагрузки, выключатели

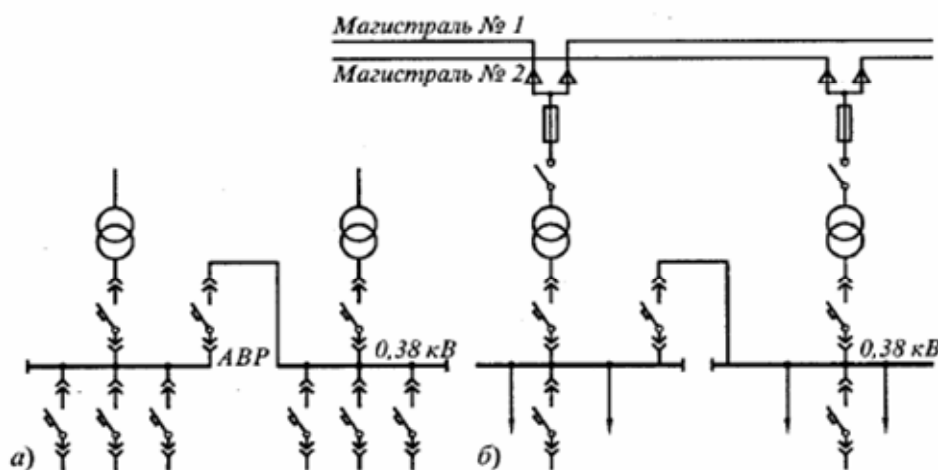
нагрузки с предохранителями. В последнее время появились УВН с вакуумными выключателями.

Глухое присоединение цехового трансформатора может применяться при радиальной реме питания трансформатора кабельными линиями по схеме блока «линия— трансформатор», за исключением питания от пункта, находящегося в ведении другой эксплуатирующей организации, а также при необходимости установки отключающего аппарата по условиям защиты (см. рис. *а*). Если же необходимо обеспечить селективное отключение трансформатора при его повреждении или недопустимой перегрузке, то последовательно с выключателем нагрузки или разъединителем устанавливается предохранитель.

При магистральной схеме питания применяются схемы, изображенные на рис. (см. рис. *б*), где на входе и выходе магистрали устанавливаются разъединители, выключатели нагрузки или шинные накладки, а в цепи трансформатора — разъединители с предохранителями, выключатели нагрузки с предохранителями или разъединители с вакуумными выключателями.

Схемы комплектных трансформаторных подстанций состоят из следующих основных элементов: вводов первичного напряжения, трансформаторов, выводов вторичного напряжения от трансформаторов, отходящих линий вторичного напряжения в различных модификациях, секционных аппаратов на шинах вторичного напряжения.

Вводы в КТП напряжением 6...10 кВ выполняются в основном по схемам, приведенным на рис. *а* и *б*, в зависимости от схемы электроснабжения.



Схемы цеховой подстанции без сборных шин напряжением 6... 10 кВ:  
*а* — при радиальном питании; *б* — при магистральном питании

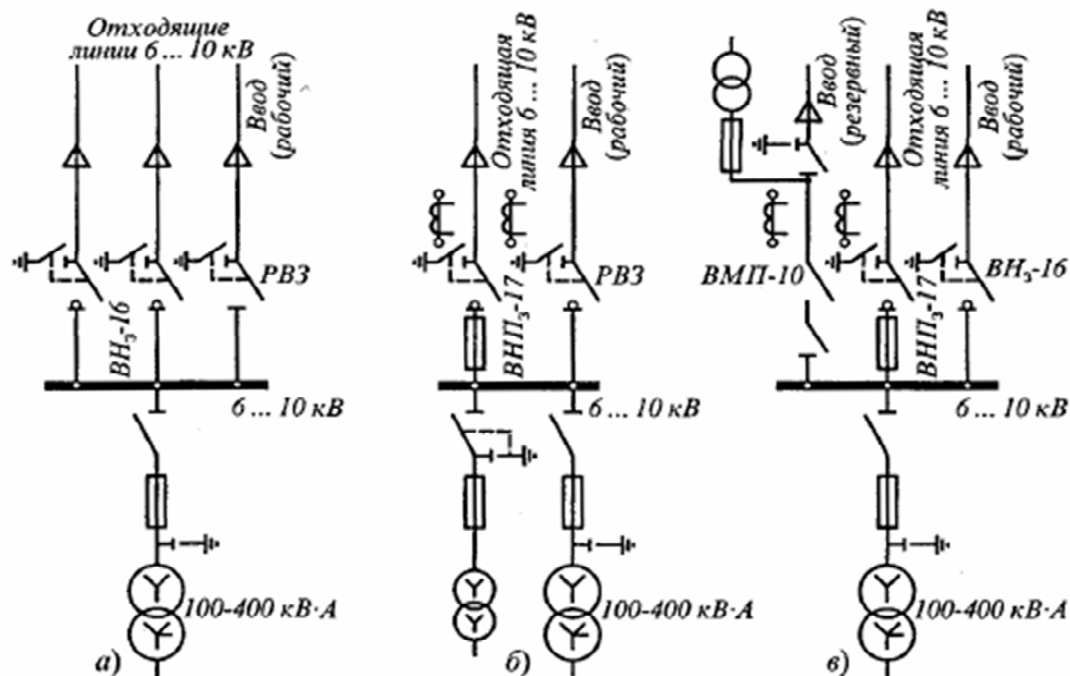
При магистральном питании ТП на вводе к трансформатору с номинальной мощностью  $S_{\text{ном.т}}$  устанавливаются аппараты в следующем порядке по направлению тока:  
 предохранитель и выключатель нагрузки (при  $S_{\text{ном.т}} > 630$  кВА);  
 разъединитель и предохранитель (при  $S_{\text{ном.т}} < 400$  кВА).

#### Присоединение трансформаторных подстанции к линиям напряжением 6... 10 кВ для питания городских потребителей

Схемы электрических соединений одотрансформаторных подстанций с трансформатором мощностью до 630 кВА являются наиболее простыми и содержат минимальное число несложных коммутирующих и защитных аппаратов.

На рис. приведены схемы электрических соединений трансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью до 400 кВА с кабельным вводом. Выбор схемы подстанции определяется схемой построения распределительной сети напряжением 6...10 кВ. Подстанция, схема которой приведена на рис. *а*, используется в петлевых схемах;

подстанция, схема которой приведена на рис. б, в, - при питании от одной радиальной линии, а отходящая радиальная линия питает отдельные потребители.



Схемы электрических соединений подстанций с одним трансформатором мощностью до 400 кВ·А

На следующем рис. приведены схемы соединений двухтрансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью до 630 кВА каждый с кабельными вводами. Подстанция имеет одинарную систему сборных шин, которые секционированы на дне секции с помощью разъединителей.

К каждой секции шин предусматривается присоединение одной-двух линий и по одному трансформатору. На каждой секции шин предусмотрены заземляющие разъединители.

В распределительном устройстве напряжением 6... 10 кВ устанавливаются выключатели нагрузки ВНЗ-16 и ВМПЗ-17 и масляный выключатель ВМП-10 только для резервного ввода.

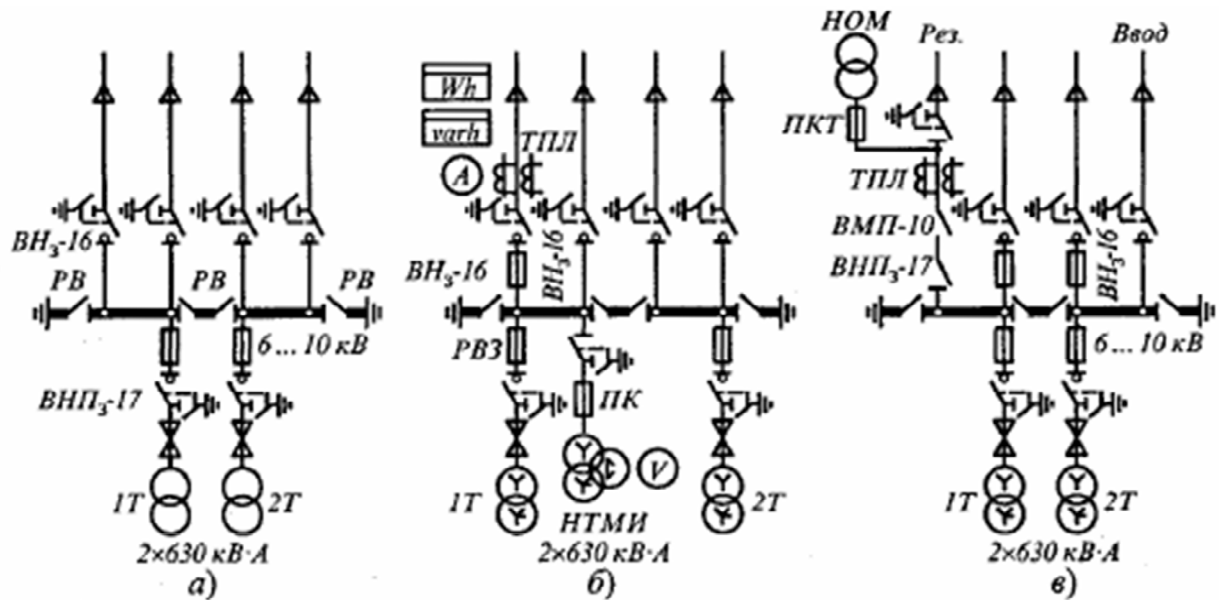
В схеме а отсутствуют автоматика и измерение. В схеме, приведенной на рис. б, предусматривается коммерческий учет энергии с установкой измерительных трансформаторов (тока - ТПЛ и напряжения - НТМИ) и приборов учета: амперметра, счетчиков активной и реактивной энергии. В схеме, приведенной на рис. в, установлен АВР на резервном вводе с выключателем ВМП-10.

Распределительным устройством со стороны низшего напряжения подстанции называется устройство для распределения электроэнергии напряжением до 690 В, состоящее из одного или нескольких шкафов со встроенными в них аппаратами для коммутации, управления, измерения и защиты.

РУНН двухтрансформаторной подстанции выполняется с одиночной секционированной системой шин с фиксированным подключением каждого трансформатора к своей секции шин через коммутационный аппарат.

В промышленных электрических сетях применяются комплектные трансформаторные подстанции: для внутренней установки — КТП промышленного типа; для наружной установки — КТП промышленного типа в модульном здании, КТП модульного типа; КТП в бетонной оболочке: КТП городского типа и др.





Схемы электрических соединений подстанций с двумя трансформаторами мощностью до 630 кВ·А каждый

В городских электрических сетях используют: отдельно стоящие подстанции; подстанции, совмещенные с РП 10(6) кВ; встроенные и пристроенные подстанции, которые могут быть установлены в общественных зданиях при условии соблюдения требований ПУЭ, санитарных норм.

Не допускается применение встроенных и пристроенных подстанций в спальнях корпусов общественно-образовательных школ, школах-интернатах, учреждениях по подготовке кадров, дошкольных детских учреждениях и др., где уровень звука ограничен санитарными нормами.

Применяются одно- и двухтрансформаторные подстанции с мощностью трансформатора не более 1000 кВА. На встроенных и пристроенных подстанциях при применении сухих трансформаторов число трансформаторов не ограничивается.

Выбор мощности силовых трансформаторов должен производиться с учетом нагрузочной и перегрузочной способности трансформаторов.

Для двухтрансформаторных подстанций с масляными трансформаторами допустимая аварийная перегрузка трансформатора должна приниматься в соответствии с требованиями ГОСТ 14209-97.

Рекомендуемые схемы соединения обмоток трансформаторов:

«звезда-зигзаг» для трансформаторов до 250 кВА;

«треугольник-звезда» при мощности 400 кВА и более.

В настоящее время чаще всего применяются подстанции закрытого типа в кирпичных или бетонных зданиях, с силовыми трансформаторами марки ТМ. РУВН выполняется со сборными шинами с камерами КСО-366М, РУНН — с панелями ЩО-70.

Принципиальная схема данной подстанции и план подстанции типа К-42 — показаны на рис.

Секционные разъединители и заземляющие ножи установлены на шинном мосту

При радиальной схеме питания подстанций применяются более простые схемы на стороне ВН подстанции. В последнее время российские предприятия освоили выпуск комплектных трансформаторных подстанций разных типов, которые могут быть установлены в городских электрических сетях: КТП городского типа; КТП модульного типа; КТП в бетонной оболочке; КТП наружного типа и др.

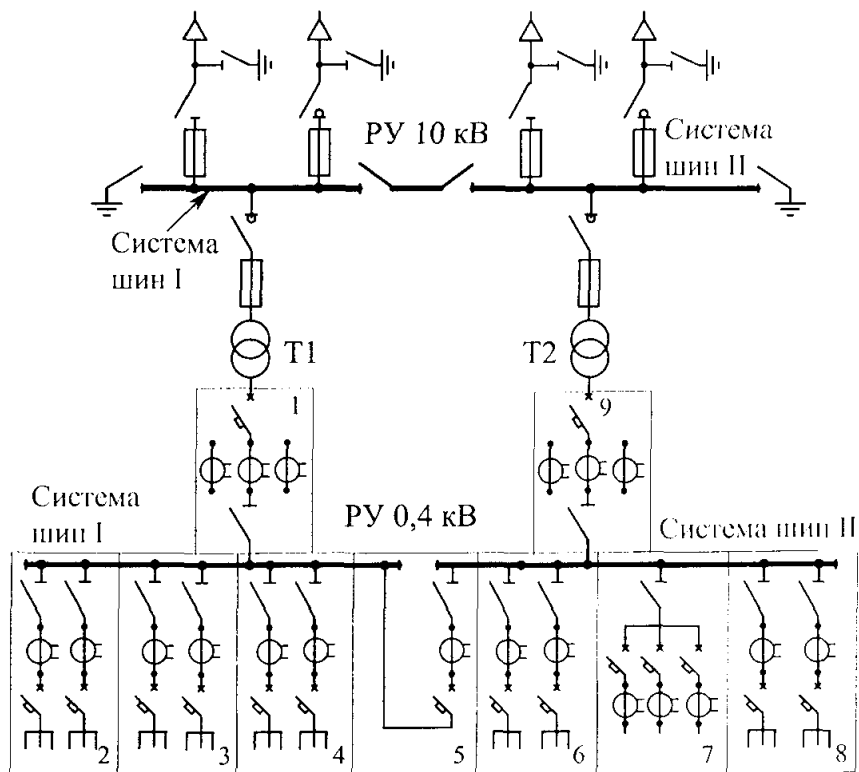


Рис. Принципиальная схема подстанции РУ 10 кВ с камерами КСО-366М (РУ 0,4 кВ с панелями ЩО 70), тонкими линиями выделены панели 0,4 кВ: 1, 9 — вводные панели; 2—4, 6—8 — линейные панели; 5— секционная панель

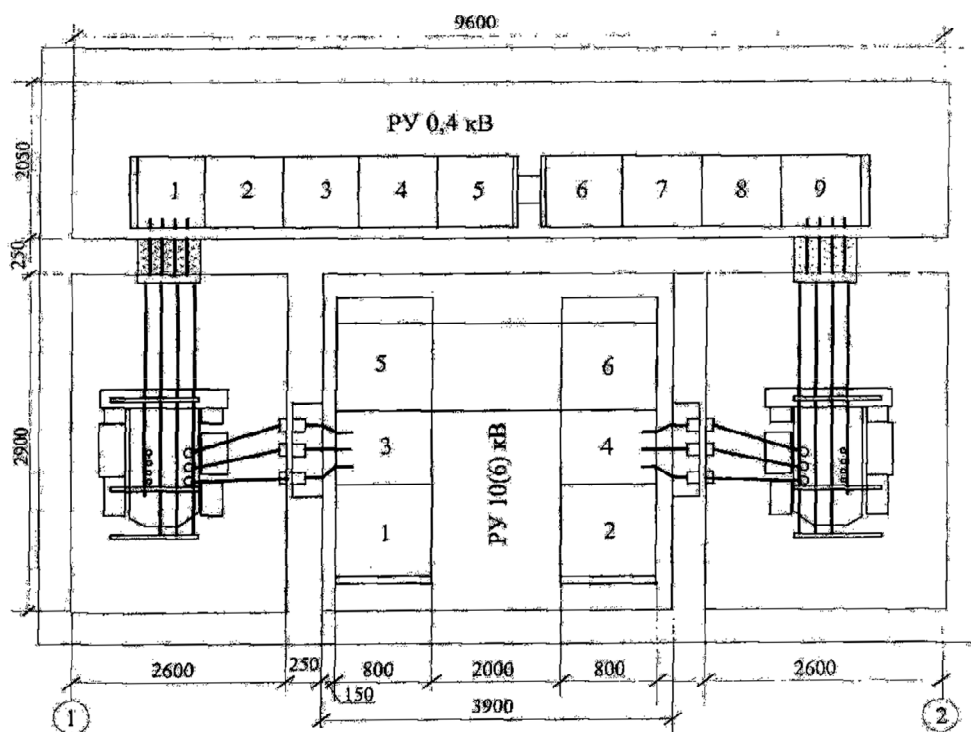


Рис. План подстанции 10(6)/0,4 кВ типа К-42-630 М5

### Схемы распределительных подстанций на напряжении до 1 кВ

Схема распределительной подстанции (распределительного пункта, силового пункта, распределительного щита, шкафа и т.д.) определяется ее назначением, числом и мощностью отходящих линий, уровнем токов короткого замыкания. Для ввода питания в жилые и общественные здания применяют вводные распределительные устройства (ВРУ). Схема панели ВРУ в однолинейном изображении дана на рис.

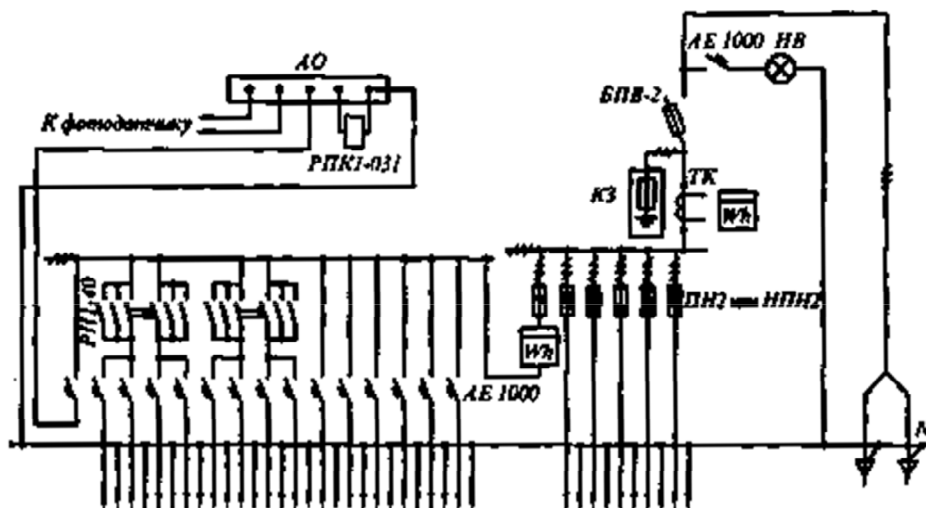


Схема панели вводного распределительного устройства на напряжении 0,4 кВ

При выполнении РП на напряжении до 1 кВ используют стандартные панели, на которых устанавливаются комплекты из рубильников с предохранителями или рубильников с автоматами, иногда с контакторами. Схема панели распределительного щита с рубильниками и предохранителями РПС-2 и трансформаторами тока ТК-20 дана в трехфазном изображении на рис.

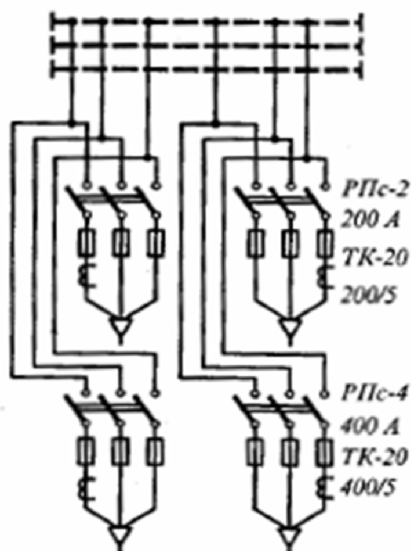


Схема панели распределительного щита на четыре линии с рубильниками и предохранителями на напряжении 0,4 кВ

При составлении схемы распределительной подстанции необходимо так подбирать нагрузки и отходящие линии, чтобы РП не получилась громоздкой и дорогостоящей, но в то же время была устойчива к токам короткого замыкания. Если есть необходимость в отходящих линиях небольших сечений, следует группировать нагрузки по мелким магистралям. В случае применения рубильников с предохранителями пропускную способность отходящих линий для силовой нагрузки рекомендуется принимать силой тока 250 и 400 А. Сечения проводов и кабелей выше 150 мм<sup>2</sup> применять не рекомендуется. В схемах распределительных подстанций для силовых и осветительных сетей должно быть обеспечено отключение всей РП без нарушения работы остальных РП, питающихся от одной магистрали. Для силовых РП это достигается применением общих рубильников на вводе, причем при питании группы РП «цепочкой» каждая РП может быть отключена без нарушения работы самой цепочки. Для потребителей, требующих более надежного электроснабжения, применяются РП с двумя рубильниками или контакторами на вводе для подключения к независимым источникам питания. Ответвления от РП защищаются предохранителями или автоматами.

### Тема 3. Расчеты и выбор основного электрооборудования подстанций. (8 час.)

Выбор и проверка выключателей. Выбор и проверка предохранителей. Выбор и проверка разъединителей. Выбор и проверка токоограничивающих реакторов. Выбор и проверка трансформаторов напряжения. Выбор и проверка автоматических выключателей. Выбор и проверка трансформаторов тока. Выбор и проверка шин и изоляторов. Выбор и проверка кабелей. Выбор и проверка проводов. Выбор и проверка кабелей и проводов до 1 кВ с учетом выбора защиты.

Расчет токов короткого замыкания

Расчетными точками короткого замыкания принимаются сборные шины РУ–6(10) кВ и РУ–220-110(35) кВ проектируемой подстанции или шины всех РУ электростанции.

Расчетный вид КЗ - трехфазное короткое замыкание, по которому проверяются электродинамическая устойчивость выключателей, а также термическая устойчивость токоведущих частей электроустановок и аппаратов.

Тепловой импульс при двухфазном коротком замыкании может оказаться большим, чем при трехфазном замыкании, особенно при продолжительном коротком замыкании. Однако при быстродействующих защитах основных цепей РУ  $B_k^{(3)} > B_k^{(2)}$ , поэтому расчетным при проверке термической устойчивости будет ток трехфазного короткого замыкания.

В результате расчета токов короткого замыкания необходимо выявить следующие их значения:

- $I_{П0}$  – периодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени;
- $i_{a0}$  – апериодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени;
- $I_{Пт}$  – ток короткого замыкания в момент расхождения контактов выключателя;
- $i_{at}$  – апериодическую составляющую тока короткого замыкания в момент расхождения контактов выключателя;
- $I_{\infty}$  – установившийся ток короткого замыкания;
- $i_y$  – ударный ток короткого замыкания;
- $I_y$  – действующее значение тока короткого замыкания за первый период после момента короткого замыкания;

Расчет токов короткого замыкания следует производить с учетом индивидуального затухания периодической составляющей тока короткого замыкания от отдельных источников, находящихся на различном удалении от места короткого замыкания. Расчет желательно выполнить в относительных единицах.

От источников бесконечной мощности токи короткого замыкания необходимо определять аналитическим методом по величинам базисного тока и относительного результирующего сопротивления до места короткого замыкания, т.е.:

$$I_{П0} = I_{\infty} = \frac{I_{\delta}}{x_{*рез}}$$

где

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}$$

Здесь за базисную мощность принимается 100 МВА или 1000 МВА, а за базисное напряжение  $U_{\delta}$  - среднее номинальное напряжение той ступени напряжения, на которой рассчитываются значения токов короткого замыкания.

**От источников конечной мощности токи короткого замыкания определяются по типовым кривым.**

**Составление схемы замещения**

Расчеты токов коротких замыканий выполняются, как правило, без учета активных сопротивлений и проводимостей элементов сети, входящих в схему замещения, а также фазовых сдвигов между векторами э.д.с. источников. Поэтому для составления схем замещения заданной электрической схемы необходимо определить лишь индуктивные сопротивления всех элементов сети и э.д.с. источников, подпитывающих точку короткого замыкания. Сопротивлениям, определяемым в результате преобразования схем замещения, присваиваются порядковые номера.

При определении сопротивлений отдельных элементов (воздушных линий, реакторов) необходимо использовать значение среднего номинального напряжения в месте установки элемента, выбранное из ряда: **515; 340; 230; 115; 37; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3 кВ.**

При переходе от расчета сверхпереходного режима к расчету установившегося режима схема замещения изменяется. Поэтому составление и упрощение схемы замещения нужно выполнить как для сверхпереходного, так и для установившегося режима к.з.

Каждая схема должна быть преобразована до одного результирующего сопротивления соответствующей последовательности относительно точки к.з. При преобразованиях следует использовать основные приемы эквивалентных преобразований, известные из теории линейных цепей (параллельное и последовательное соединение сопротивлений, преобразование звезды в треугольник и обратно).

**Определение параметров элементов при составлении схем замещения**

Параметры элементов для схемы прямой последовательности определяются в соответствии с заданием, в котором они даны в относительных единицах при номинальных условиях, либо в именованных единицах (воздушные линии, реакторы). Расчет параметров отдельных последовательностей для различных элементов выполняется следующим образом:

Генераторы. В сверхпереходном режиме генераторы замещаются сверхпереходными э.д.с.  $E''_{Г*}$  за сверхпереходными сопротивлениями  $X''_d$ , а в установившемся режиме к.з. – синхронной э.д.с.  $E_{Г*}$  и сопротивлением  $X_d$ . Э.Д.С. генераторов определяется по формуле:

$$E_* = \sqrt{(x_G \cos \varphi_H)^2 + (1 + X_G \sin \varphi_H)^2},$$

где  $X_G = X''_d$  - при определении  $E''_{Г*}$ ;  $X_G = X_d$  - при определении  $E_{Г*}$ .

Определение сопротивлений генераторов в относительных единицах при базисных условиях выполняется по формуле:  $X_{*(б)} = X_G \frac{S_\delta \cos \varphi_H}{P_H}$ .

Нагрузки. Нагрузки в схему замещения для сверхпереходного режима входят как источники с параметрами  $E''_{H*} = 0.85$ ,  $X''_{H*} = 0.35$ .

Приведение сопротивлений нагрузки к базисным условиям выполняется по формуле:

$$X_{*(б)} = X_H \frac{S_\delta}{S_H}.$$

Трансформаторы. Для трансформаторов сопротивление определяется по следующему выражению:  $X_{IT*(\delta)} = \frac{U_{K\%} \cdot S_\delta}{100 \cdot S_H}$ .

Система. Сопротивление прямой последовательности системы конечной мощности, отнесенное к базисным условиям:  $X_{IC*(б)} = \frac{S_\delta}{S_C}$ . Для системы бесконечной мощности -

$X_{IC} = 0$ . За этим сопротивлением считается подключенным источник с  $E_{C*} = 1$ .

Воздушные линии. Сопротивление прямой последовательности линий электропередачи, приведенное к базисным условиям, равно:

$$X_{1L*(\delta)} = X_{уд} L \frac{S_{\delta}}{U_{CP}^2},$$

где  $X_{уд}$  - индуктивное сопротивление линии на 1 км длины, Ом/км;  $L$  - длина линии, км;  $U_{CP}$  - среднее напряжение в месте установки элемента (в данном случае ЛЭП), кВ.

Реакторы. Сопротивление прямой последовательности реакторов равно:

$$X_{P*(\delta)} = X_P \frac{S_{\delta}}{U_{CP}^2}.$$

#### **Расчет трехфазного короткого замыкания**

Определение периодической составляющей тока трехфазного к.з. в начальный момент возникновения повреждения было показано ранее.

При приближенных расчетах токов КЗ для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронных генераторов в произвольный момент времени при радиальной расчетной схеме следует применять метод типовых кривых. Он основан на использовании кривых изменения во времени отношения действующих значений периодической составляющей тока КЗ от генератора в произвольный и начальный моменты времени, т.е.  $\gamma_t = I_{пт}/I_{п0} = f(t)$ , построенных для разных удаленностей точки КЗ. При этом электрическая удаленность точки КЗ от синхронной машины характеризуется отношением действующего значения периодической составляющей тока генератора в начальный момент КЗ к его номинальному току, т.е.

$$I_{* n0(ном)} = \frac{I_{n0}}{I_{ном}} = I_{* n0(\delta)} \frac{S_{\delta}}{S_{ном}},$$

где  $I_{* n0}$  - начальное значение периодической составляющей тока КЗ от машины в относительных единицах при выбранных базисных условиях;

$S_{\delta}$  - базисная мощность, МВ·А;

$S_{ном}$  - номинальная мощность (полная) синхронной машины, МВ·А.

На рис. 4.1-4.4 приведены типовые кривые  $\gamma_t = f(t)$  для различных групп турбогенераторов с учетом современной тенденции оснащения генераторов разных типов определенными системами возбуждения.

На рис. 4.1 представлены типовые кривые для турбогенераторов с тиристорной независимой системой возбуждения (СТН)-генераторов типов ТВВ-300-2ЕУЗ, ТВВ-500-2ЕУЗ, ТВВ-800-2ЕУЗ, ТГВ-300-2УЗ, ТГВ-800-2УЗ; при построении кривых приняты кратность предельного напряжения возбуждения  $K_{Уф} = 2,0$  и постоянная времени нарастания напряжения возбуждения при форсировке возбуждения  $T_e = 0,02$  с.

На рис. 4.2 представлены типовые кривые для турбогенераторов с тиристорной системой параллельного самовозбуждения (СТС)-генераторов типов ТВФ-100-2УЗ, ТВФ-110-2ЕУЗ, ТВФ-120-2УЗ, ТВВ-160-2ЕУЗ, ТВВ-167-2УЗ, ТВВ-200-2АУЗ, ТВВ-220-2УЗ, ТВВ-220-2ЕУЗ, ТГВ-200-2УЗ, ТЗВ-220-2ЕУЗ, ТЗВ-320-2ЕУЗ; при построении этих кривых приняты  $K_{Уф} = 2,5$  и  $T_e = 0,02$  с.

На рис. 4.3 представлены типовые кривые для турбогенераторов с диодной независимой (высокочастотной) системой возбуждения (СДН) - генераторов типов ТВФ-63-2ЕУЗ, ТВФ-63-2УЗ, ТВФ-110-2ЕУЗ; при построении кривых приняты  $K_{Уф} = 2,0$  и  $T_e = 0,2$  с.

На рис. 4.4 представлены типовые кривые для турбогенераторов с диодной бесщеточной системой возбуждения (СДБ) - генераторов типов ТВВ-1000-2УЗ и ТВВ-1200-2УЗ; при построении кривых приняты  $K_{Уф} = 2,0$  и  $T_e = 0,15$  с.

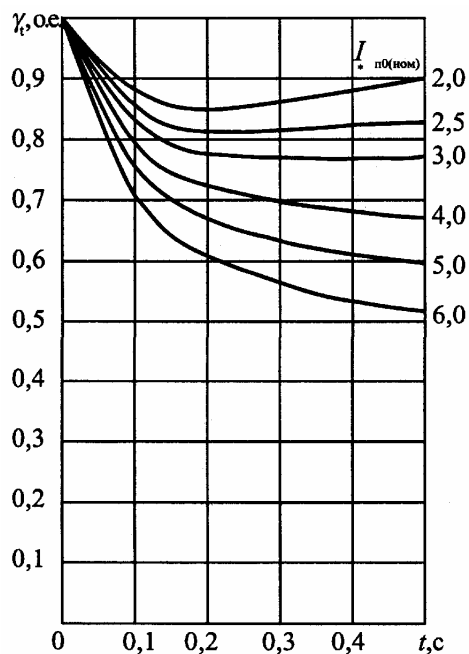


Рис. 4.1. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от турбогенераторов с тиристорной независимой системой возбуждения

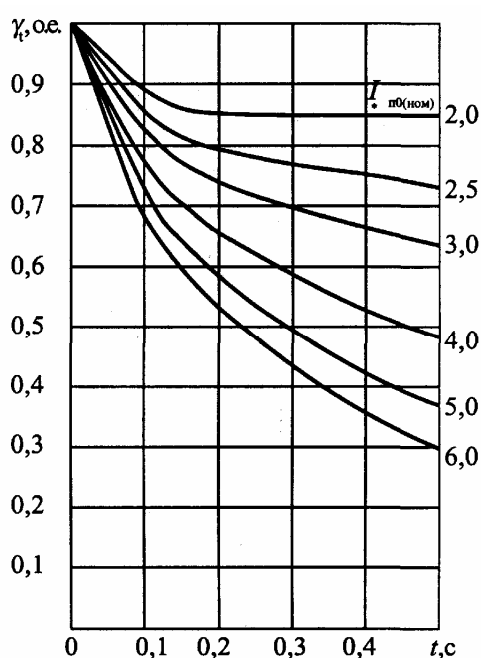


Рис. 4.2. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от турбогенераторов с тиристорной системой самовозбуждения

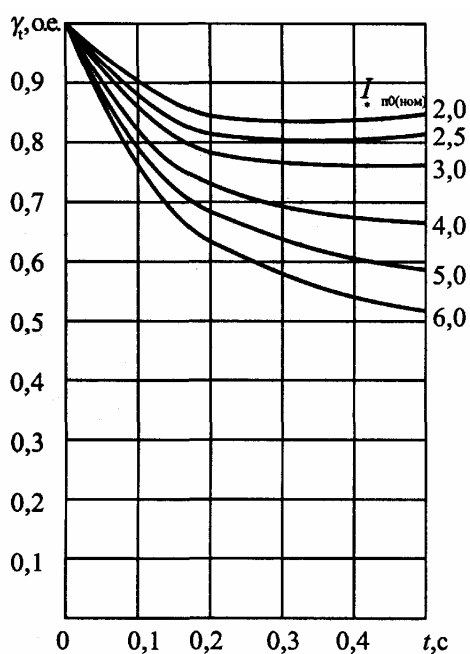


Рис. 5.3. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от турбогенераторов с диодной независимой (высокочастотной) системой возбуждения

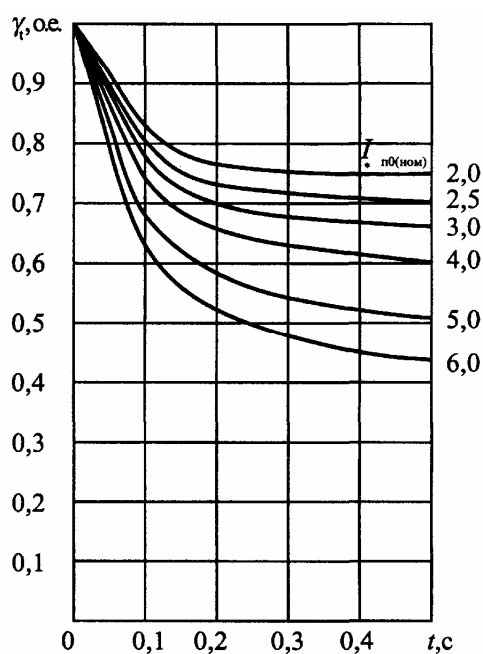


Рис. 5.4. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от турбогенераторов типов ТВВ-1000-2УЗ и ТВВ-1200-2УЗ с диодной бесщеточной системой возбуждения

Типовые кривые учитывают изменение действующего значения периодической составляющей тока КЗ, если отношение действующего значения периодической составляющей тока генератора в начальный момент КЗ к его номинальному току равно или больше двух. При меньших значениях этого отношения следует считать, что действующее

значение периодической составляющей тока КЗ не изменяется во времени, т.е.  $I_{пт} = I_{п0} = \text{const}$ .

Расчет действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронного генератора в произвольный (фиксированный) момент времени с использованием метода типовых кривых рекомендуется вести в следующем порядке:

1) по исходной расчетной схеме составить эквивалентную схему замещения для определения начального значения периодической составляющей тока КЗ, в которой синхронную машину следует учесть предварительно приведенными к базисной ступени напряжения или выраженными в относительных единицах при выбранных базисных условиях сверхпереходным сопротивлением и сверхпереходной ЭДС, с помощью преобразований привести схему к простейшему виду и определить действующее значение периодической составляющей тока в начальный момент КЗ;

2) определить значение величины  $I_{*п0(ном)}$ , характеризующей электрическую удаленность расчетной точки КЗ от синхронной машины;

3) исходя из типа генератора и его системы возбуждения, выбрать соответствующие типовые кривые и по найденному значению  $I_{*п0(ном)}$  выбрать необходимую кривую (при этом допустима линейная экстраполяция в области смежных кривых);

4) по выбранной кривой для заданного момента времени определить коэффициент  $\gamma_t$ ;

5) определить искомое значение периодической составляющей тока КЗ от синхронной машины в заданный момент времени

$$I_{пт} = \gamma_t I_{*п0(б)} I_б,$$

где  $I_б$  - базисный ток ступени напряжения сети, на которой находится расчетная точка КЗ.

Если исходная расчетная схема содержит несколько однотипных синхронных генераторов, находящихся в одинаковых условиях по отношению к расчетной точке КЗ, то порядок расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени аналогичен вышеизложенному, только при определении значения  $I_{*п0(ном)}$  вместо  $S_{ном}$  следует подставлять сумму номинальных мощностей всех этих генераторов.

В тех случаях, когда расчетная продолжительность КЗ превышает 0,5 с, для расчета периодической составляющей тока в произвольный момент времени при КЗ на выводах турбогенераторов допустимо использовать кривые  $\gamma_t = f(t)$ , приведенные на рис. 4.5, а при КЗ на стороне высшего напряжения блочных трансформаторов - кривые, приведенные на рис. 4.6.

Как на рис. 4.5, так и на рис. 4.6 кривая 1 относится к турбогенераторам с диодной бесщеточной системой возбуждения, кривая 2 - с тиристорной независимой системой возбуждения, кривая 3 - с диодной независимой (высокочастотной) системой возбуждения и кривая 4 - с тиристорной системой самовозбуждения.

Для приближенного определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени от синхронных генераторов напряжением 6-10 кВ в автономных системах электроснабжения следует использовать типовые кривые, представленные на рис. 4.7.

При разработке кривых были использованы параметры генераторов напряжением 6-10 кВ различных серий, а именно: СГДС 15.54.8 - 1000 кВт, 10,5 кВ; СГДС 15.74.8 - 1600 кВт, 10,5 кВ; СГДС 15.94.8-2000 кВт, 10,5 кВ; СГДС 15.74.8-2000 кВт, 6,3 кВ; СГДС 15.54.8 - 1600 кВт, 6,3 кВ; СБГД 6300 - 6300 кВт, 6,3 кВ.



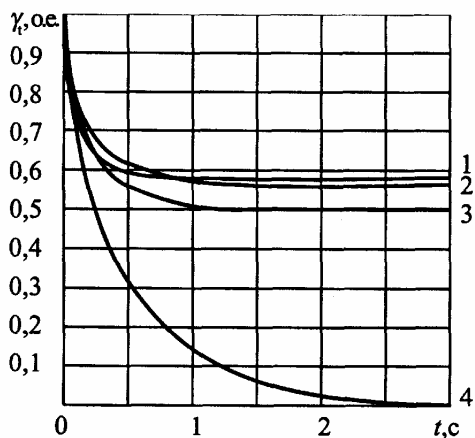


Рис. 4.5. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от турбогенераторов с различными системами возбуждения при трехфазных КЗ на выводах генераторов

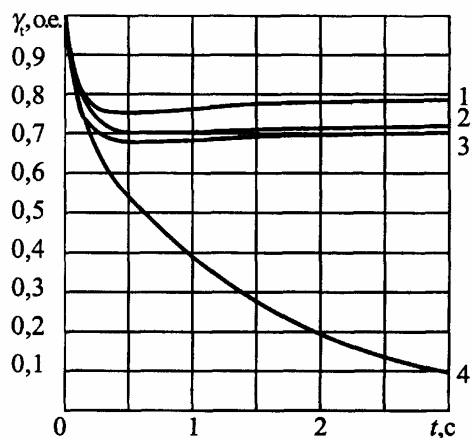


Рис. 4.6. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от турбогенераторов с различными системами возбуждения при трехфазных КЗ на стороне высшего напряжения блочных трансформаторов

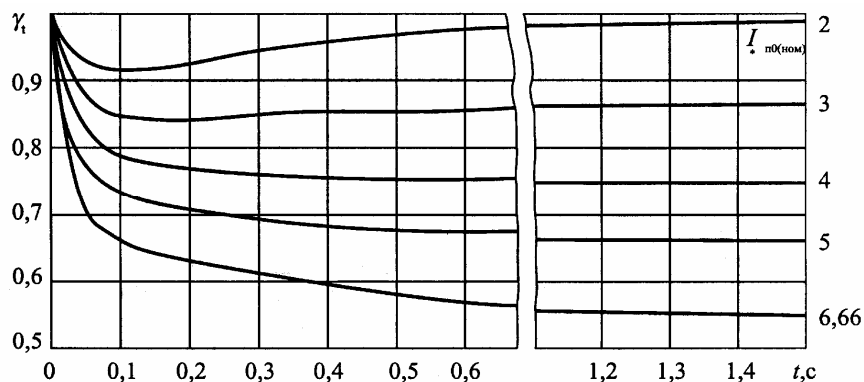


Рис. 4.7. Типовые кривые изменения периодической составляющей тока КЗ от синхронного генератора напряжением 6-10 кВ автономной системы электроснабжения

*Учет синхронных и асинхронных электродвигателей при расчете токов короткого замыкания*

Степень влияния синхронных и асинхронных электродвигателей на ток КЗ зависит от характера исходной расчетной схемы, положения расчетной точки КЗ, удаленности последней от электродвигателей и многих других факторов.

Периодическую составляющую тока КЗ от синхронных или асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени следует рассчитывать путем решения соответствующей системы дифференциальных уравнений переходных процессов и выделения из найденного тока его периодической составляющей, используя ЭВМ.

В приближенных расчетах для определения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от синхронных или асинхронных электродвигателей в произвольный момент времени при радиальной схеме следует применять метод типовых кривых, который основан на использовании кривых изменения во времени отношений  $\gamma_{сД} = I_{псД}/I_{п0сД}$  и  $\gamma_{аД} = I_{птАД}/I_{п0АД}$  при разных удаленностях точки КЗ.

Типовые кривые для синхронного электродвигателя приведены на рис. 4.8, а для асинхронного электродвигателя – на рис. 4.9.

Значение периодической составляющей тока в килоамперах в момент времени  $t$  равно

$$I_{птСД} = \gamma_{тСД} I_{*п0(ном)} I_{номСД} = \gamma_{тСД} I_{*п0(б)} I_{б};$$

и

$$I_{птАД} = \gamma_{тАД} I_{*п0(ном)} I_{номАД} = \gamma_{тАД} I_{*п0(б)} I_{б};$$

где  $I_{номСД}$  и  $I_{номАД}$  - номинальные токи соответственно синхронного и асинхронного электродвигателей;

$I_{б}$  - базисный ток той ступени напряжения сети, на которой находятся точка КЗ и электродвигатель.

Если в каком-либо узле мощность подключенных неявнополюсных синхронных электродвигателей (серии СТД, СТМ и др.) превышает 30% суммарной мощности всех электродвигателей, то использование типовых кривых, приведенных на рис. 4.8, приводит к погрешности, превышающей допустимую. Поэтому в указанном случае при расчете периодической составляющей тока КЗ неявнополюсные синхронные электродвигатели следует учитывать индивидуально, используя кривые зависимости  $\gamma_{тСД} = f(t)$ , приведенные на рис. 4.10.

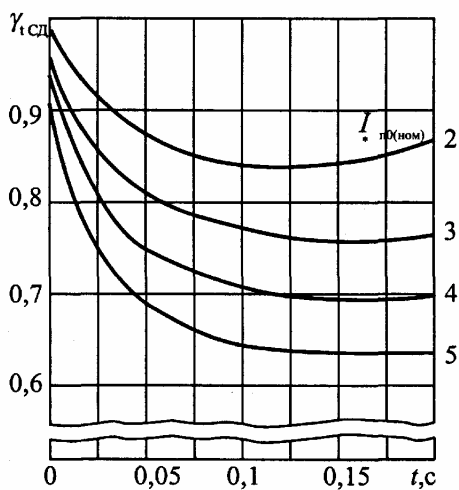


Рис. 4.8. Типовые кривые для синхронного электродвигателя

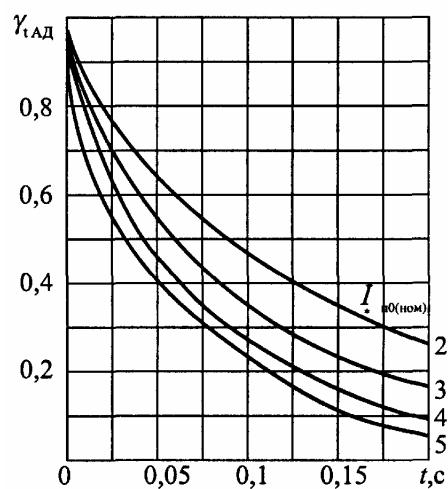


Рис. 4.9. Типовые кривые для асинхронного электродвигателя

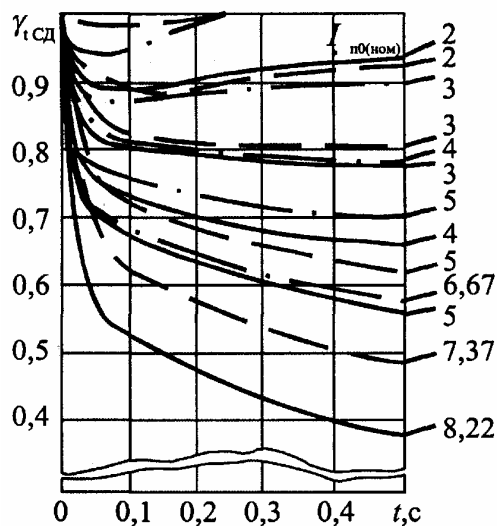


Рис. 4.10. Типовые кривые изменения тока КЗ от синхронных электродвигателей серии СДН (сплошные линии), серии СД с частотой вращения 1500 об/мин (штрихпунктирные линии) и серии СТД (пунктирные линии со звездочками)

Ударный ток в месте к.з. определяется по значению сверхпереходной периодической составляющей тока к.з.  $i_{y0} = \sqrt{2} \cdot K_{y0} \cdot I_{п0}$ , где  $K_{y0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T}}$ .

Эквивалентная постоянная времени  $T_э$  при расчете в относительных единицах определяется как:  $T_{*э} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$ , где  $X_{\Sigma}$ ,  $R_{\Sigma}$  - результирующие индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки к.з. для сверхпереходного режима.

Действующее значение полного тока к.з. за первый период его изменения определяется в соответствии с выражением:  $I_y = I_n'' \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}$ .

Мощность к.з. в месте повреждения является условной величиной, определяемой по формуле:  $S_{пт} = \sqrt{3} I_{пт} \cdot U_6$ .

Таблица 4.1. Значение ударного коэффициента  $K_{уд}$  и постоянной времени  $T_a$  для характерных ветвей схемы

Элементы или части энергосистемы	$T_a$ , с	$K_{уд}$
Турбогенераторы мощностью, МВт: 12 – 60 100 – 1000	0,16 – 0,25 0,4 – 0,54	1,94 – 1,955 1,975 – 1,98
Блоки, состоящие из турбогенератора мощностью 60 МВт и трансформатора на стороне ВН), при номинальном напряжении генератора, кВ: 6,3 10	0,2 0,15	1,95 1,935
Блоки, состоящие из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генераторов, МВт: 100 – 200 300 500 800	0,26 0,32 0,35 0,3	1,965 1,97 1,973 1,967
Система, связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями напряжением, кВ: 35 110 – 150 220 – 330 500 - 750	0,02 0,02 – 0,03 0,03 – 0,04 0,06 – 0,08	1,608 1,608 – 1,717 1,717 – 1,78 1,85 – 1,895
Система, связанная со сборными шинами 6–10 кВ, где рассматривается КЗ, через трансформаторы мощностью, МВА: 5,6 – 32 32 – 80 80 и выше	0,06 – 0,05 0,05 – 0,1 0,02 – 0,05	1,85 – 1,935 1,82 – 1,904 1,6 – 1,82
Ветви, защищенные реактором с номинальным током, А: 1000 и выше 630 и ниже	0,23 0,1	1,956 1,904
Распределительная сеть 6 – 10 кВ (на шинах РП)	0,01	1,369
Система совместно с воздушными линиями электропередач	0,05	1,8
Ветвь асинхронного двигателя мощностью до 1 МВт	0,05	1,8

## Коммутационная аппаратура напряжением выше 1 кВ

### Выключатели напряжением выше 1 кВ

Выключатель предназначен для коммутации рабочих и аварийных токов. При разрыве цепи разомкнувшимися контактами выключателя возникает электрическая дуга, которая должна гаситься в специальных устройствах. Контакты выключателя находятся внутри камеры в разомкнутом состоянии. Дугогасительные устройства выключателей используют следующие принципы быстрого гашения дуги: охлаждение дуги посредством перемещения ее в окружающей среде; обдувание дуги воздухом или холодными неионизированными газами; расщепление дуги на несколько параллельных дуг малого сечения; удлинение, дробление и соприкосновение дуги с твердым диэлектриком; размещение контактов в интенсивно деионизирующей среде; создание высокого давления в дуговом промежутке и т. п.

В зависимости от применяемой дугогасительной среды выключатели бывают жидкостные и газовые, из них наиболее распространены масляные и воздушные. В масляных выключателях дугогасительной средой является трансформаторное масло, в воздушных - сжатый воздух. Кроме воздушных и масляных имеется много других видов выключателей. Так, в автогазовых выключателях используется дутье газов, образующихся под действием высокой температуры дуги. В элегазовых выключателях гашение дуги осуществляется в среде элегаза.

Выпускаемые отечественной промышленностью масляные выключатели имеют две конструктивные разновидности: много- и малообъемные. В выключателях с большим объемом масла трансформаторное масло используется для гашения дуги и изоляции токоведущих частей друг от друга и от земли. Эти выключатели применяются на напряжении 35 кВ и выше с номинальными токами 630... 2000 А. Многообъемные масляные выключатели предназначены для наружной установки.

В малообъемных масляных выключателях трансформаторное масло используется только как средство гашения дуги; бабки (или горшки, или колонки) этих выключателей во время работы находятся под напряжением, поэтому они изолируются от заземленных частей посредством наружных изоляторов. Маломасляные выключатели применяются на напряжении 10 (6)...35 кВ.

В воздушных выключателях гашение дуги производится сжатым воздухом. В большинстве конструкций воздушных выключателей гасительные камеры размещаются в фарфоровых изоляторах. Эти выключатели применяются на напряжении 35 кВ и выше, в основном для наружной установки.

Для сетей напряжением 6 и 10 кВ выпускаются выключатели с электромагнитным дутьем, а также вакуумные выключатели.

Управление выключателем, т.е. его включение и отключение, может производиться вручную, дистанционно или автоматически. Механизм для включения и отключения выключателя называется *приводом*. У большинства выключателей он представляет собой отдельный аппарат - электромагнитный, пружинный, грузовой или пневматический, соединяемый с приводным валом выключателя.

### Выключатели нагрузки напряжением выше 1 кВ

В установках напряжением 6... 10 кВ, особенно в распределительных пунктах, на цеховых подстанциях предприятий, в городских сетях, широко используются выключатели нагрузки с небольшой дугогасительной камерой, в которой может быть отключен ток только рабочего режима, но они не рассчитаны на отключение тока короткого замыкания. При размыкании контактов выключателя нагрузки создается видимый разрыв цепи.

Выключатели нагрузки в сочетании с высоковольтными предохранителями (ВНП) в известной мере заменяют силовую выключатель. Выключатели нагрузки выполняются на номинальные токи 200 и 400 А, наибольший рабочий ток отключения 400 и 800 А.

### Плавкие предохранители напряжением выше 1 кВ

Плавкие предохранители выполняют операцию автоматического отключения цепи при превышении определенного значения тока. После срабатывания предохранителя необходимо сменить плавкую вставку или патрон, чтобы подготовить аппарат для дальнейшей работы. Ценными свойствами плавких предохранителей являются простота устройства, относительно малая стоимость, быстрое отключение цепи при коротком замыкании (меньше одного периода), способность предохранителей типа ПК ограничивать ток в цепи при КЗ.

К недостаткам плавких предохранителей относятся следующие: предохранители срабатывают при токе, значительно превышающем номинальный ток плавкой вставки, и поэтому избирательность (селективность) отключения не обеспечивает безопасность отдельных участков сети; отключение цепи плавкими предохранителями связано обычно с перенапряжением; возможно однофазное отключение и последующая ненормальная работа установок.

Несмотря на указанные недостатки, плавкие предохранители широко применяются для защиты силовых трансформаторов мощностью до 2500 кВ-А на напряжении 10 кВ, электродвигателей, распределительных сетей и измерительных трансформаторов напряжения.

Наибольшее распространение получили кварцевые и газогенерирующие предохранители.

В кварцевых предохранителях (ПК) патрон заполнен кварцевым песком, и дуга гасится путем удлинения, дробления и соприкосновения с твердым диэлектриком.

В газогенерирующих предохранителях для гашения дуги используются твердые газогенерирующие материалы (фибра, винипласт и др.). Газогенерирующие предохранители выполняются с выхлопом и без выхлопа газа из патрона при срабатывании. Предохранители с выхлопом газа из патрона называют также *стреляющими* (ПСН - 10 и ПС - 35), поскольку срабатывание их сопровождается звуком, похожим на ружейный выстрел. Предохранители напряжением выше 1 кВ выполняются как для внутренней, так и для наружной установки.

### Разъединители, отделители и короткозамыкатели напряжением выше 1 кВ

*Разъединителем* называется электрический аппарат для оперативного переключения под напряжением участков сети с малыми токами замыкания на землю и создания видимого разрыва. По условиям техники безопасности при производстве работ в установках необходимо иметь видимые разрывы цепи, откуда может быть подано напряжение. Указанное требование обеспечивается разъединителями, которые не имеют устройств для гашения дуги и не допускают переключений под нагрузкой. Поэтому их оснащают блокировкой, предотвращающей отключение нагрузочного тока. Правилами устройства электроустановок допускается отключать разъединителями холостой ток открыто установленных трансформаторов: напряжением 10 кВ - мощностью до 630 кВА; напряжением 20 кВ - мощностью до 6300 кВА; напряжением 35 кВ - мощностью до 20000 кВА; напряжением 110 кВ - мощностью до 40500 кВА; уравнивающий ток линий при разности напряжений не более 2%, заземление нейтралей трансформаторов и дугогасящих катушек, токи замыкания на землю (не превышающие 5 А при напряжении 35 кВ и 10 А при напряжении 10 кВ), а также небольшие зарядные токи линий.

Конструктивно разъединители могут быть внутренней и наружной установок.

Разъединители управляются приводами вручную или дистанционно (но не автоматически).

*Отделителями* называются аппараты напряжением от 35 кВ и выше, имеющие надежную конструкцию контактов и снабженные специальным приводом, позволяющим осуществлять автоматическое отключение подвижной части отделителя. Отделители напряжением 35...220 кВ допускают отключение тока холостого хода трансформаторов и зарядного тока воздушных линий электропередач любой протяженности при бестоковой

паузе, обусловленной действием защиты и автоматического повторного включения. Включение отделителей производится вручную.

*Короткозамыкателями* называются аппараты напряжением от 35 кВ и выше, имеющие надежную конструкцию контактов и снабженные специальным приводом, позволяющим осуществлять автоматическое включение ножа короткозамыкателя. При включении ножа короткозамыкателя создается металлическое короткое замыкание на подстанциях без выключателей. В сетях с заземленной нейтралью короткозамыкатели однополюсные и создают однофазное КЗ на землю. В сетях с изолированной нейтралью короткозамыкатели имеют два полюса и создают двухфазное КЗ.

#### Изоляторы и типы распределительных устройств напряжением выше 1 кВ

Токоведущие части электроустановок крепятся и изолируются друг от друга и по отношению к земле при помощи изоляторов. Изоляторы для электроустановок напряжением выше 1 кВ изготавливаются из фарфора.

Изоляторы делятся на линейные, станционные и аппаратные.

Линейные изоляторы предназначаются для крепления проводов воздушных линий; аппаратные - для крепления токоведущей части аппаратов; станционные - для крепления шин в распределительных устройствах.

Станционные изоляторы в свою очередь подразделяются на опорные и проходные.

Опорные изоляторы ОА, ОБ, ОВ, ОГ, ОД, ОЕ (с механической прочностью А, Б, В, Г, Д, Е) для внутренних установок на напряжение 6... 35 кВ служат для крепления шин и аппаратуры распределительных устройств. Изготавливаются они с овальным, круглым или квадратным основанием; металлические части (арматура) для крепления изоляторов заделываются снаружи фарфорового корпуса.

Опорные изоляторы для наружных установок изготавливаются штыревыми (ШТ-35) и стержневыми (СО-35, СТ-110). Для повышения электрической прочности эти изоляторы выполняются с более развитой, чем внутренней установки, поверхностью (ребристые).

Проходные изоляторы (для внутренних и наружных установок) предназначены для вывода токоведущих частей из зданий и прокладки шин через стены и перекрытия.

Наибольшее применение находят проходные изоляторы ПА и ПБ с токоведущими стержнями прямоугольного сечения на напряжение 6... 10 кВ и силу тока 600... 1500 А.

Для установок напряжением 35 кВ и выше проходные изоляторы выполняются обычно с круглыми токоведущими стержнями.

Шины в распределительных устройствах напряжением выше 1 кВ изготавливаются из меди и алюминия и имеют круглое, прямоугольное и коромысловое сечение.

В закрытых установках медные шины применяются только в особых случаях, в открытых установках - в агрессивной среде (морское побережье, территория химических заводов).

Как правило, в распределительных устройствах применяются алюминиевые шины. В закрытых установках напряжением до 35 кВ устанавливаются шины прямоугольного (плоского) сечения. В открытых установках шины выполняются круглыми многопроволочными сталеалюминиевыми проводами.

В зависимости от значения тока шины собирают по одной, две, три и больше полосы в одном пакете на фазу.

Для силы тока больше 3000 А применяют шины коромыслового сечения.

Шина фазы *А* окрашивается в желтый цвет, *В* - в зеленый. *С* - в красный.

При монтаже жестких плоских и коромысловых шин (если длина цинковки для алюминия больше 15 м) шины каждой фазы делятся на отдельные участки, соединяемые гибкими переключателями - компенсаторами. Среднюю точку каждого пролета шин глухо закрепляют на соответствующем изоляторе. На других изоляторах ставят приспособления для продольного перемещения шин, вызываемого изменением их температуры. Для предохранения контактных соединений от окисления шины не должны работать при температуре, выше 70 °С.

## Коммутационные аппараты напряжением до 1 кВ

### Предохранители напряжением до 1 кВ

Предохранители применяются для защиты электроустановок от токов КЗ. Защита от перегрузок с помощью предохранителей возможна только при условии, что защищаемые элементы установки будут выбраны с запасом по пропускной способности, превышающим примерно на 25% номинальный ток плавкой вставки. Плавкие вставки предохранителей выдерживают токи, превышающие на 30...50% их номинальные токи в течение одного часа и более. При токах, превышающих номинальный ток плавких вставок на 60... 100%, они плавятся за время менее одного часа. Наиболее распространенными предохранителями, применяемыми для защиты электроустановок напряжением до 1 кВ, являются:

ПР - предохранитель разборный;

НПН - насыпной предохранитель, неразборный;

ПНР-2 - предохранитель насыпной, разборный.

Шкала номинальных токов предохранителей 15... 1000 А.

Наполнителем является кварцевый мелкозернистый песок.

Плавкие предохранители делят на инерционные - с большой тепловой инерцией, т. е. способностью выдерживать значительные кратковременные перегрузки током; безынерционные - с малой тепловой инерцией, т.е. с ограниченной способностью к перегрузкам. К первым относятся предохранители с винтовой резьбой и свинцовым токопроводящим мостиком, ко вторым - трубчатые предохранители с медным токопроводящим мостиком.

### Автоматические выключатели

Автоматические выключатели (автоматы), не обладая недостатками Предохранителей, обеспечивают быструю и надежную защиту проводов и кабелей сетей как от токов перегрузки, так и от токов короткого замыкания. Кроме того, они используются и для управления при нечастых включениях и отключениях. Таким образом, автоматические выключатели совмещают в себе одновременно функции защиты и управления.

Для выполнения защитных функций автоматы снабжаются либо только тепловыми, либо только электромагнитными расцепителями, либо комбинированными расцепителями (тепловыми и электромагнитными). Тепловые расцепители осуществляют защиту от токов перегрузки, а электромагнитные - от токов короткого замыкания.

Действие тепловых расцепителей автоматов основано на использовании нагрева биметаллической пластинки, изготовленной из спая двух металлов с различными коэффициентами теплового расширения. В расцепителе при токе, превышающем тот, на который они выбраны, одна из пластин при нагреве удлиняется больше и вследствие большего ее удлинения воздействует на отключающий пружинный механизм. В результате чего коммутирующее устройство автомата размыкается. Тепловой расцепитель автомата не защищает питающую линию или асинхронный двигатель от токов короткого замыкания. Это объясняется тем, что тепловой расцепитель, обладая большой тепловой инерцией, не успевает нагреться за малое время существования тока КЗ.

Электромагнитный расцепитель представляет собой электромагнит, который воздействует на отключающий пружинный механизм. Если ток в катушке превышает определенное, заранее установленное значение (ток трогания или ток срабатывания), то электромагнитный расцепитель отключает линию мгновенно. Настройку расцепителя на заданный ток срабатывания называют *уставкой тока*. Уставку тока электромагнитного расцепителя на мгновенное срабатывание называют *отсечкой*. Электромагнитные расцепители не реагируют на токи перегрузки, если они меньше уставки срабатывания.

В зависимости от наличия механизмов, регулирующих время срабатывания расцепителей, автоматы разделяются на неселективные с временем срабатывания 0,02...0,1 с, селективные с регулируемой выдержкой времени и токоограничивающие с временем срабатывания не более 0,005 с.

### Контакторы и магнитные пускатели

Контактор - это аппарат дистанционного действия, предназначенный для частых включений и отключений под нагрузкой силовых электрических цепей. Контакторы не защищают электрические цепи от ненормальных режимов, поскольку у них отсутствуют защитные элементы. Контактор состоит из электромагнитной системы, обеспечивающей дистанционное управление; главных контактов силовой цепи; дугогасительного устройства; блок-контактов, включаемых в цепь автоматики и сигнализации. Контакторы нашли широкое применение в силовых цепях переменного и постоянного тока.

В цепях переменного тока применяют преимущественно трехполюсные контакторы серии КТ с номинальными токами 63... 1000 А. Контакторы при числе полюсов два или три допускают 600... 1200 включений в час.

В сетях постоянного тока применяют контакторы серии КТП с номинальными токами 80 ...630 А.

Магнитный пускатель - это трехполюсный контактор переменного тока, в котором дополнительно встроены два тепловых реле защиты, включенных последовательно в две фазы главной цепи двигателя. Магнитные пускатели предназначены для управления (пуска, останова, реверса) трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 75 кВт, а также для защиты их от перегрузки. В отдельных случаях магнитные пускатели используют для включения и отключения некоторых электроустановок, требующих дистанционного управления (наружное и внутреннее освещение, автоматизированные электроприводы и т. п.). Защита электродвигателя от перегрузок осуществляется тепловым реле РТ. Тепловое реле надежно защищает электродвигатель от перегрузки, но не обеспечивает защиты от коротких замыканий.

Объясняется это тем, что тепловое реле имеет большую тепловую инерцию. При коротком замыкании ток может повредить цепи раньше, чем сработает тепловое реле. Кроме того, контакты магнитных пускателей не рассчитаны на отключение токов короткого замыкания. Поэтому в случае применения магнитных пускателей (с тепловыми реле для защиты от перегрузок) для защиты от токов коротких замыканий необходимо устанавливать последовательно с тепловыми реле плавкие предохранители или автоматы с электромагнитными расцепителями.

Магнитный пускатель отключает двигатель от сети при исчезновении напряжения или его понижении до 50...70% от номинального значения.

До последнего времени наибольшее применение в электрических сетях имели магнитные пускатели серий ПМЕ, ПАЕ, ПМА, однако в настоящее время они заменяются пускателями серий ПМЛ и ИКЛ на номинальные рабочие токи от 4 до 200 А.

Кроме указанных аппаратов в сетях напряжением до 1 кВ используются для коммутации кнопки управления, командоаппараты, переключатели и кнопочные посты управления.

### **ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Электрические аппараты выбираются по номинальному напряжению, номинальному току, роду установки (наружной или внутренней) и проверяются на действие токов короткого замыкания.

При выборе по номинальному напряжению должно выполняться условие

$$U_{ап.ном} \geq U_{уст.ном} ,$$

где  $U_{ап. ном}$  - номинальное напряжение аппарата;

$U_{уст. ном}$  - номинальное напряжение установки (среднее номинальное напряжение сети).

Значение напряжений у выбираемых аппаратов не должны быть меньше напряжений цепей, в которых эти аппараты устанавливаются.

Все выключатели могут применяться в сетях более низкого напряжения, чем напряжение  $U_H$ , но тогда их предельная отключаемая мощность (ток) уменьшается



пропорционально уменьшению напряжения (при применении выключателей 10 кВ в сетях 6 кВ - в 1.67 раза, выключателей 35 кВ в сетях 20 кВ - в 1.75 раза и т.д.).

При выборе по номинальному току требуется соблюсти условие

$$I_{\text{раб.мах}} \leq I_{\text{ап.ном}},$$

где  $I_{\text{раб.мах}}$  - максимально возможный рабочий ток присоединения.

Ток нагрузки, протекающий через аппарат,  $I_{\text{раб.мах}}$  не должен превышать значение тока, указанного в каталожных данных аппарата.

Следует, однако, различать нормальный и форсированный рабочие режимы. Форсированный режим возникает при использовании перегрузочной способности трансформаторов и кабелей, отключении одной из параллельных линий, неблагоприятном распределении нагрузки в цепях секционных и междушинных выключателей, неравномерной нагрузке плеч сдвоенного реактора, наконец, при понижении напряжения на зажимах генератора и одновременной необходимости сохранения его номинальной мощности.

Выбранные предварительно аппараты проверяются на электродинамическую и термическую устойчивость токам короткого замыкания. При проверке аппарата и токоведущих частей РУ на термическую и динамическую стойкость за расчетный вид короткого замыкания принимают трехфазное короткое замыкание.

Для большинства аппаратов должно выполняться следующее условие динамической устойчивости:

$$i_y \leq i_{\text{мах}} \text{ или } I_y \leq I_y.$$

Здесь  $i_{\text{мах}}$  и  $I_{\text{мах}}$  - соответственно максимально допустимое амплитудное и действующее значения сквозного тока аппарата.

Проверка аппаратов на термическую стойкость сводится к определению наибольшей температуры нагрева их токами к.з., для чего необходимо знать длительность к.з.,  $t_{\text{откл}}$  или расчетное время действия тока к.з. Это время определяется суммой двух времен - собственным временем отключения выключателя  $t_{\text{в}}$  и собственным временем срабатывания защиты, которое по большей части можно принимать равным 0,01 с. Собственное время отключения выключателя с приводом должно находиться в пределах (в секундах):

Сверхбыстродействующие	_____	0,04 – 0,06;
Быстродействующие	_____	0,06 – 0,08;
Ускоренного действия	_____	0,08 – 0,12;
Небыстродействующие	_____	0,12 – 0,25;

Для проверки аппаратов на термическую стойкость нужно определить величину  $B_k$  теплового импульса к.з., характеризующего количество тепла, выделяющегося в аппарате и проводнике за время  $t_{\text{отк}}$

$$B_k = \int_0^{t_{\text{откл}}} i_{kt}^2 dt = B_{kn} + B_{ka},$$

где  $i_{kt}$  - мгновенное значение тока к.з. в момент  $t$ ;  $B_{kn}$  и  $B_{ka}$  - тепловой импульс периодического и аperiodического токов соответственно.

$$\text{При удаленном к.з. } B_k = I_{n0}^2 (t_{\text{откл}} + T_a).$$

При к.з. вблизи генераторов и наличии системы величины  $B_{kn}$  и  $B_{ka}$  определяются отдельно  $B_{kn} = B_{nc} + B_{nz} + B_{ncc}$ .

Отдельно определяется тепловой импульс от периодического тока системы:

$$B_{nc} = I_c^2 t_{\text{откл}}:$$

$$\text{от периодического тока генераторов: } B_{nz} = B_{nz}^* I_{20}^2 t_{\text{откл}},$$

где  $B_{nz}^* = \frac{\int_0^{t_{откл}} i_{nzt}^2 dt}{I_{z0}^2 t_{откл}}$ ; от совместного действия токов системы и генераторов:

$$B_{nzc} = 2I_c I_* I_{z0} t_{откл}, \text{ где } I_* = \frac{\int_0^{t_{откл}} i_{nzt} dt}{I_{z0} t_{откл}}.$$

Здесь  $B_{nz}^*$  и  $I_*$  - относительные тепловой и токовый импульсы периодического тока генератора, определяемые по кривым.

Тепловой импульс от аperiodического тока генераторов и системы определяют как

$$B_{az} = I_c^2 T_{ac} + I_{z0}^2 T_{az} + \frac{4I_c I_{z0}}{\frac{1}{T_{ac}} + \frac{1}{T_{az}}},$$

где  $T_{ac}$  - постоянная времени для аperiodического тока в цепи системы;

$T_{az}$  - постоянная времени для аperiodического тока в цепи генераторов станции.

Условием термической устойчивости аппаратов является

$$B_k \leq I_t^2 t,$$

где  $I_t$  - ток термической устойчивости аппарата для определенного времени действия его (односекундный, трехсекундный, пятисекундный или десятисекундный ток термической устойчивости);

$t$  - время, соответствующее току термической устойчивости.

Согласно ПУЭ не проверяют на термическую устойчивость аппараты и оборудование, защищенное плавкими предохранителями, и провода воздушных линий.

На динамическую устойчивость не проверяют аппараты и проводники в ячейках трансформаторов напряжения и оборудование, защищенное плавкими предохранителями с малым номинальным током, т.к. такие предохранители являются токоограничивающими.

#### Выбор выключателей и плавких предохранителей

Выключатели высокого напряжения при одних и тех же параметрах могут быть выбраны масляные малообъемные или многообъемные, воздушные, элегазовые, вакуумные, электромагнитные и т.д.

Выключатель выбирается по номинальному напряжению, длительному номинальному току и проверяется по отключающей способности, а также динамической и термической устойчивости к токам коротких замыканий. Для выбранного выключателя указывается тип привода.

Отключающую способность выключателя характеризуют номинальный симметричный ток отключения  $I_{откл.н}$  (приведен в каталогах) и номинальное относительное содержание аperiodической составляющей  $\beta_n$  (определяется по кривой  $\beta_n=f(t)$  для времени  $t$  от момента возникновения к.з. до начала размыкания контактов).

Для проверки на отключающую способность необходимо знать  $I_{nt}$  и  $I_{at}$  из расчетов токов к.з.

Если расчет производится для небыстродействующих выключателей, собственное время которых превышает 0,08 с, аperiodическим током вообще можно пренебречь, т.к. его относительное содержание в полном токе при таком времени становится меньше 0,15.

Условия выбора выключателей следующие:

1) По номинальному напряжению выключателя установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}.$$

2) По номинальному току выключателя установки с учетом возможного увеличения тока в ближайшие годы

$$I_{норм} \leq I_{ном}; I_{max} \leq I_{ном}.$$

3) По отключающей способности. Расчет  $I_{n0}$  проводится для наиболее тяжелого случая при трехфазном КЗ

$$I_{n0} \leq I_{0,ном}.$$

4) По апериодической составляющей тока КЗ в момент расхождения контактов, которая должна быть равна или меньше допустимого значения апериодической составляющей по данным, гарантируемым заводом-изготовителем

$$i_{ат} \leq i_{ат.завод} = \sqrt{2} \frac{\beta_{ном\%}}{100} I_{0,ном},$$

где  $\beta_{ном\%}$  - номинальное содержание апериодической составляющей, %, определяемое как отношение апериодической составляющей к действующему значению периодической составляющей тока КЗ в момент прекращения соприкосновения дугогасительных контактов выключателя. Принимается по кривой.

5) По электродинамической стойкости. Амплитудное значение ударного тока при включении на КЗ должно быть равно или меньше наибольшего пика тока включения выключателя

$$i_y \leq i_{вкл.наиб}.$$

6) По термической стойкости

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}.$$

Для проверки выключателя на термическую стойкость необходимо рассчитать тепловой импульс:

$$B_k = I_{n0}^2 t_{отк},$$

где  $B_k$  - тепловой импульс,  $кА^2с$ ;

$I_{n0}$  - действующее значение периодической составляющей начального тока КЗ,  $кА$ ;

$t_{отк}$  - время отключения,  $с$ .

Время отключения находится из выражения:

$$t_{отк} = t_{рз} + t_{ов},$$

где  $t_{рз}$  - время действия релейной защиты,  $с$ ;

$t_{ов}$  - время отключения выключателя,  $с$ .

Принимают  $t_{рз} = 0,1с$  для  $U_H = 6-20 кВ$ ;

7) По требованию ПВН (кривая переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН) не должна пересекаться с нормированными кривыми ПВН.

Значения нормированных характеристик собственного переходного восстанавливающегося напряжения, а также значения нормированных (предельных) скоростей восстанавливающегося напряжения для выключателей с  $U_{ном}$  до 35 кВ включительно для различных значений отключаемого тока КЗ в сети.

В электрических сетях промпредприятий при проверке отключающей способности выключателей по условиям восстанавливающегося напряжения требуется, чтобы скорость восстанавливающегося напряжения в цепи установки выключателя не превышала предельных нормированных значений, допустимых для данного выключателя.

Скорость восстанавливающегося напряжения может быть определена по формуле:

$$S = \sqrt{2} I_{n0} \omega_0 \frac{Z_{л}}{n} K_c 10^{-6},$$

где  $I_{no}$  - периодическая составляющая отключаемого тока КЗ,  $кА$ ;

$Z_l$  - волновое сопротивление линии,  $Ом$ , при одном проводе в фазе равно  $450 Ом$ ;

$n$  - число линий, остающихся в работе после отключения КЗ;

$K_c$  – коэффициент, учитывающий влияние емкости в рассматриваемой сети. Зависит от параметра  $A$  равного

$$A = \frac{2Z_l}{n} \sqrt{\frac{C\omega_0}{X}},$$

где  $C$  - емкость сети,  $\Phi$ , определяется по формуле:

$$C = 4,5n_m + 1,5n_l + C_0 10^{-9},$$

где  $n_m$  - число подключенных трансформаторов;

$C_0$  - емкость кабельных линий, не учитываемых в числе  $n_l$ ;

$X$ - индуктивное сопротивление, принимаемое при расчете КЗ,  $Ом$ .

Результаты выбора сводятся в следующую таблицу.

Выбор выключателей		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{no} = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma} + \Delta X^{(n)}}$	$U_{ном}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$i_{уд} = \sqrt{2} I_{no} \cdot K_{уд}$	$I_{ном}$	$I_{ном} \geq I_{max}$
$I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{ном}}$	$I_{вкл}$	$I_{вкл} \geq I_{no}$
$i_{ат} = \sqrt{2} I_{no} e^{\frac{-t}{T_a}}$	$i_{вкл}$	$I_{пр.скв} \geq I_{no}$
$i_{a.ном} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{ном}}{100} I_{откл.ном}$	$I_{пр.скв}$	$i_{пр.скв} \geq i_{уд}$
$i_{откл.ном} = \sqrt{2} I_{откл.ном} \left(1 + \frac{\beta_{ном}}{100}\right)$	$i_{пр.скв}$	$I_{тер}^2 t_{отк} \geq B_K$
$B_K = I_{no}^2 (B_k^* t_{отк} + T_a)$	$I_{тер}^2 t_{отк}$	$I_{откл.ном} > I_{no}$
		$i_{a.ном} \geq i_{ат}$

Автоматический выключатель (автомат) - это коммутационный электрический аппарат, предназначенный для проведения тока цепи в нормальных режимах и для автоматического отключения электроустановок при перегрузках и токах КЗ, чрезмерных понижениях напряжения и других аварийных режимах. Возможно использование автоматов для нечастых (6-30 раз в сутки) оперативных включений и отключений цепей.

Автоматические выключатели изготавливают для цепей переменного и постоянного тока одно-, двух-, трех- и четырехполюсными.

**Выбор автоматических выключателей производится по:**

- 1) напряжению установки:  $U_{ном} = U_{сет.ном}$  ;
- 2) роду тока и его величине:  $I_{ном} \geq I_{норм.расч}$  ;  $k_{нг} I_{ном} \geq I_{прод.расч}$  ;
- 3) конструктивному исполнению;
- 4) коммутационной способности  $I_{откл.ном} \geq I_{нт} \approx I_{no}$  ,

где  $I_{откл.ном}$  - ток предельной коммутационной способности автомата;

$I_{пт}$  - ток КЗ в момент расхождения контактов (если в расчете отсутствует, то принимают  $I_{пт} \approx I_{но}$ );

5) включаемому току  $i_{вкл} \geq i_{уд}$ ,

где  $i_{уд}$  - ударный ток КЗ;

$i_{вкл}$  - амплитудное значение номинального тока включения;

6) термической стойкости  $I_{тер}^2 t_{тер} \geq B_k$ ,

где  $I_{тер}$  - ток термической стойкости автомата (если не задан, то принимают  $I_{тер} = I_{откл.ном}$ );

$t_{тер}$  - время термической стойкости, можно принять равным 1 с;

7) постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ  $T_{а.ном} \geq T_a$ ,

где  $T_{а.ном}$  - значение по каталогу (0,005-0,015 с).

### *Перенапряжения, возникающие при коммутации индуктивных токов вакуумными выключателями*

При коммутациях индуктивных токов вакуумных выключателей могут возникать перенапряжения, обусловленные: срезом тока, многократными повторными зажиганиями и трехфазным одновременным отключением. Перенапряжения эти, вследствие вероятностного характера процессов в выключателе, определяются статистическими соотношениями, зависящими от схемы и параметров коммутируемой сети.

Наибольшую опасность представляют собой коммутационные перенапряжения для электродвигателей, имеющих пониженные, по сравнению с трансформаторами, уровни изоляции и в особенности пониженную импульсную прочность обмотки при воздействии волн с крутым фронтом.

Волновые сопротивления двигателей примерно на два порядка ниже, чем у трансформаторов, поэтому уровни перенапряжений при обычном срезе тока также значительно ниже. Однако включение двигателя или отключение его пускового тока, как правило, сопровождается многократными повторными зажиганиями и воздействиями волн перенапряжений с крутым фронтом. При определенном сочетании параметров схемы и начальных условий наблюдается постепенное нарастание максимумов волн (эскалация напряжений), при котором они могут достигать 5-кратных значений по отношению к фазному напряжению двигателя.

Для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений применяются нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН), которые состоят из нелинейных резисторов, заключенных в изоляционную крышку. Резисторы выполнены из последовательно-параллельно включенных керамических резисторов на основе окиси цинка.

Защитное действие ограничителя обусловлено тем, что при появлении опасного для изоляции перенапряжения вследствие высокой нелинейности резисторов через ОПН протекает значительный импульсный ток, в результате чего перенапряжение снижается до уровня, безопасного для изоляции защищаемого оборудования.

В настоящее время предложены следующие технические решения по схемам защиты от перенапряжений электрооборудования 6-10 кВ, коммутируемого вакуумными выключателями, в установках промышленных предприятий:

1) Для защиты трансформаторов общего назначения с облегченной изоляцией (сухие, литые) у вводов трансформатора между каждой фазой и землей должен быть подсоединен ОПН для соответствующего класса напряжения.

2) Для защиты электродвигателей между жабимами каждой фазы двигателя и землей должны устанавливаться последовательные RC - цепочки с параметрами  $R = 50 \text{ Ом}$  и  $C = 0,25 \text{ мкФ}$ . Между жабимами и землей у электродвигателей выше 1000 кВт дополнительно к

РС - цепочке должны устанавливаться ОПН для соответствующего класса напряжения.

3) Для электрооборудования напряжением 6 - 10 кВ с нормальной изоляцией (маслонаполненные трансформаторы) никаких дополнительных средств защиты не требуется.

Преимуществами ОПН являются возможность глубокого ограничения перенапряжений, в том числе междуфазных, малые габариты, позволяющие использовать их в качестве опорных изоляционных колонн, большая пропускная способность. Уровень ограничения коммутационных перенапряжений с помощью ОПН составляет  $(1,65 \div 1,8)U_{\phi}$ .

Ограничители перенапряжений выбираются по номинальному напряжению, которое должно быть равно номинальному напряжению сети.

Для защиты асинхронных электродвигателей от коммутационных перенапряжений принимается ограничитель типа ОПН-6/7,2-10(1), где 6 - класс напряжения сети, кВ; 7,2 - максимальное действующее длительное рабочее напряжение ограничителя, кВ; 10 - номинальный разрядный ток, кА; (I) - группа разрядного тока (по устойчивости к импульсу большой длительности).

### Выбор ОПН

Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН  $U_{нр}$  должно быть не ниже наибольшего рабочего напряжения сети  $U_{н.раб.с}$  или защищаемого оборудования  $U_{н.р.о}$ .  $U_{нр} > U_{н.раб.с}$ .

Повышения напряжения, возникающие при оперативных переключениях или аварийных режимах, учитываются в соответствии с условиями работы ОПН в квазиустановившихся режимах.

Критерием оценки энергоемкости ОПН является его способность пропускать нормируемые импульсы тока коммутационного перенапряжения без потери рабочих качеств. При установке ограничителя на шунтовых конденсаторных батареях или кабельных присоединениях энергия, поглощаемая ОПН, может быть рассчитана по выражению:

$$W_{опн} = (C/2) \cdot [ (3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{раб.наиб.ф})^2 - (1,25 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{нр.опн})^2 ],$$

где  $C$  - емкость батареи или кабеля, Ф.

Поглощаемая энергия не должна превосходить допустимую энергоемкость ОПН

$$W_{доп} = W_{уд} \cdot U_{нр}; \quad W < W_{доп}.$$

Защитный уровень ограничителя при коммутационных перенапряжениях

$$A_{ком} = (U_{доп} - U_{ост}) / U_{исп} > (0,15-0,2),$$

где  $U_{доп}$  - допустимый уровень внутренних перенапряжений;  $U_{ост}$  - остающееся напряжение на ОПН при коммутационном импульсе;  $U_{исп}$  - значение грозового испытательного импульса;

Защитный уровень ограничителя при грозовых перенапряжениях

$$A_{гр} = (U_{доп} - U_{ост}) / U_{доп} > (0,2-0,25),$$

где  $U_{ост}$  - остающееся напряжение на ОПН при номинальном разрядном токе; (0,2-0,25) - координационный интервал.

**Выбор предохранителей** производится по:

1) напряжению  $U_{ном} = U_{сети}$ ;

2) току предохранителя (основания)  $I_{ном} \geq I_{ном.расч}$ ;  $k_{не} I_{ном} \geq I_{ном.расч}$ ;

3) номинальному току плавкой вставки.

Номинальный ток плавкой вставки выбирается так, чтобы в нормальном режиме и при допустимых перегрузках отключения не происходило, а при длительных перегрузках и КЗ цепь отключалась возможно быстрее. При этом соблюдаются условия избирательности защиты.

Номинальный ток предохранителя согласуется с выбранным номинальным током плавкой вставки.

Предохранители, выбранные по нормальному режиму, проверяются по предельно отключаемому току:  $I_{откл.ном} \geq I_{но}$ .

Предохранители также проверяются на соответствие времятоковых характеристик заданным условиям защищаемой цепи.

<b>Выбор плавких предохранителей</b>		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{ном}}$ $I_{но} = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma} + \Delta X}$	$U_{ном}$ $I_{ном}$ $I_{откл.ном}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{max}$ $I_{откл.ном} \geq I_{но}$

Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей

Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей производится так же, как и выключателей, но без проверок на отключающую способность, т.к. они не предназначены для отключения цепей, находящихся под током. Кроме того, короткозамыкатели принимаются без выбора по длительному номинальному току. Выбор выключателей, отделителей, короткозамыкателей и разъединителей необходимо производить подробно для одного из присоединений и результаты выбора сводить в таблицы сопоставлений паспортных и расчетных данных. По остальным присоединениям достаточно привести только таблицы сопоставлений паспортных и расчетных данных.

<b>Выбор разъединителя</b>		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$i_{yd} = \sqrt{2}I_{но} \cdot K_{yd}$ $I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{ном}}$ $B_K = I_{но}^2 (B_k^* t_{отк} + T_a)$	$U_{ном}$ $I_{ном}$ $i_{дин}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{max}$ $I_{дин} \geq I_{yd}$ $I_T^2 t_T \geq B_K$

Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока следует выбирать с двумя вторичными обмотками, одна из которых предназначена для включения электроизмерительных приборов, другая – для приборов защиты. Выбор трансформаторов тока производится по номинальному напряжению (в соответствии с классом изоляции), току первичной цепи, току вторичных обмоток при выбранном классе точности, электродинамической и термической стойкости при коротких замыканиях.

Класс точности трансформаторов тока при включении в них цепи электрических счетчиков должен быть 0,5.

Трансформаторы тока выбираются со вторичным током 5А или 1А и двумя сердечниками с соответствующими классами точности по требованиям ПУЭ.

Прежде чем приступить к выбору трансформаторов тока, необходимо определить число и тип измерительных приборов, включенных во вторичную цепь, и иметь данные о длине  $l$  соединительных проводов. Их минимальные сечения должны быть 2,5 мм<sup>2</sup> для медных и 4 мм<sup>2</sup> для алюминиевых проводов. Максимальные сечения соответственно составляют 6 и 10 мм<sup>2</sup>.

После этого приборы распределяются по фазам А и С при наличии на присоединении двух трансформаторов тока или по фазам А, В и С при наличии на присоединении трех трансформаторов тока.

Затем определяется сопротивление наиболее нагруженной фазы, в соответствии со схемой соединения приборов контроля и учета, считая, что  $z_{пров.} \cong r_{пров.}$ .

Для обеспечения заданного класса точности должно соблюдаться условие:

$$z_{2\delta\text{дон}} \geq \sum z_{\text{приб.}} + z_{\text{пров.}} + z_{\text{конт.}},$$

где  $z_{\text{пров.}}$  - сопротивление соединительных проводов;

$z_{\text{приб.}}$  - сопротивление приборов;

$z_{\text{конт.}}$  - сопротивление контактов.

Сопротивление контактов принимается 0,05 Ом при двух-трех приборах и 0,1 Ом при большем числе приборов.

Сопротивление приборов определяется по выражению

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2},$$

где  $S_{\text{приб}}$  - мощность, потребляемая приборами;

$I_2$  - вторичный номинальный ток прибора.

Сопротивление проводов не должно превышать

$$r_{\text{пров}} \leq z_{2\delta\text{дон}} - (\sum z_{\text{приб.}} + z_{\text{конт.}}).$$

Минимальное сечение проводов можно определить из соотношения

$$S_{\text{min}} = \frac{l_{\text{расч}}}{\gamma r_{\text{пров}}}$$

или

$$S_{\text{min}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}},$$

где  $\gamma = 54 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$  - для меди;

$\gamma = 32 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$  - для алюминия.

$l_{\text{расч.}} = \sqrt{3} l$  - для схемы «неполная звезда»;

$l_{\text{расч.}} = l$  - для схемы «полная звезда»;

$l_{\text{расч.}} = 2 \cdot l$  - для схемы с трансформатором тока в одной фазе и для схемы с включением трансформаторов тока на разность двух фаз.

При проверке на динамическую и термическую устойчивость используются приведенные в каталогах значения коэффициентов электродинамической и термической устойчивости  $k_d$  и  $k_t$ . При этом условия динамической и термической устойчивости запишутся в виде:

$$i_y \leq \sqrt{2} k_d I_{1н};$$

$$B_k \leq (k_t I_{1н})^2 t.$$

Здесь  $I_{1н}$  - номинальный первичный ток трансформатора тока.

При выборе трансформаторов тока с фарфоровой изоляцией (типа ТПФ, ТПОФ и др.) необходимо выявить силу, действующую на колпачок изолятора трансформатора тока в соответствии с уравнением

$F = 0.5 \cdot 1.76 i_c^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-2}$  и сравнить ее с допускаемой,

приведенной в паспортных данных. При этом должно выполняться условие  $F \leq F_{\text{дон}}$ .

Выбор трансформаторов тока заканчивается составлением таблицы сопоставлений паспортных и расчетных данных:



<b>Выбор трансформаторов тока</b>		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$i_{y\partial} = \sqrt{2} I_{но} K_{y\partial}$ $r_2 = r_{приб} + r_{пр} + r_k$ $r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}$ $r_{пр} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_k$	$U_{ном}$ $I_{1ном}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{1ном} \geq I_{max}$ $Z_{2ном} \geq Z_2$ $i_{y\partial} \leq i_{дин}$

Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения устанавливаются в распределительных устройствах трансформаторных подстанций для питания обмоток напряжения приборов учета и контроля, аппаратов релейной защиты и подстанционной автоматики.

Класс точности для питания счетчиков принимается равным 0,5.

Для измерения линейных напряжений возможна установка двух однофазных трансформаторов напряжения типа НОМ, соединенных по схеме "открытый треугольник".

Для измерения напряжений и контроля изоляции фаз относительно земли в сетях с малыми токами замыкания на землю (6, 10 кВ) устанавливают трехобмоточные пятистержневые трансформаторы напряжения типа НТМИ с обязательным заземлением нулевой точки.

По аналогии с выбором трансформаторов тока для проверки на соответствующие классу точности необходимо составить таблицу нагрузок и определить расчетную нагрузку во вторичной цепи  $S_{2расч.}$ .

Приблизительно, без учета схемы включения приборов,  $S_{2расч.}$  можно определить по выражению: 
$$S_{2расч} = \sqrt{\left(\sum S_{приб} \cos \varphi_{приб}\right)^2 + \left(\sum S_{приб} \sin \varphi_{приб}\right)^2}.$$

При этом должно соблюдаться условие  $S_{2расч.} \leq S_{доп.}$

За  $S_{доп.}$  принимается для трехфазного трансформатора мощность всех трех фаз, приведенная в паспортных данных при работе в соответствующем классе точности; для схемы с двумя НОМ – удвоенная мощность одного НОМ.

Результаты выбора сводятся в таблицу:

<b>Выбор трансформаторов напряжения</b>		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}$ $r_{пр} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_k$ $S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}$	$U_{ном}$ $S_{ном}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $S_{2ном} \geq S_{2\Sigma}$

Ограничение токов короткого замыкания и выбор токоограничивающих реакторов

Значение токов короткого замыкания влияет на стоимость аппаратуры, устанавливаемой в РУ. В сетях 6–10 кВ токи короткого замыкания особенно влияют на термическую устойчивость кабелей, поэтому при выборе главной схемы электрических соединений подстанции необходимо предусматривать меры по ограничению токов короткого замыкания до значения, позволяющей применить экономически выгодные аппараты и сечения токоведущих частей, повысить при этом надежность электроснабжения.

Одним из основных мероприятий по ограничению токов короткого замыкания является использование раздельной работы секций шин трансформаторной подстанции при наличии средств подстанционной автоматики (АВР на секционном выключателе).

Другим мероприятием по ограничению токов короткого замыкания является использование линейных реакторов на отходящих присоединениях или в цепи трансформатор - сборные шины подстанции.

Во всех случаях следует выбирать реакторы, допускающие вертикальную установку фаз, т.к. это уменьшает стоимость строительной части распределительного устройства.

Номинальный ток реактора выбирается по условию  $I_{р.н.} \geq I_{раб.мах.}$ .

Сопротивление реактора можно определить по уравнению:

$$x_{р, \%} = \left( \frac{I_{\delta}}{I_{к}} - x_{*\delta_{рез}} \right) \cdot \frac{I_{рн}}{I_{\delta}} \cdot \frac{U_{н}}{U_{рн}} \cdot 100\% ,$$

где  $x_{*\delta_{рез}}$  – относительное результирующее базисное сопротивление от источников до места короткого замыкания;  $U_{н}$  – среднее номинальное напряжение ступени напряжения;  $I_{к}$  – значение тока короткого замыкания, которое мы хотим получить при коротком замыкании за реактором;  $I_{\delta}$  – базисный ток;  $I_{н.р.}$  и  $U_{н.р.}$  – номинальный ток и напряжение реактора.

Значение  $I_{к}$  должна быть равна или меньше номинального тока отключения  $I_{к} \leq I_{откл.н.}$  наиболее дешевого выключателя.

Определив  $x_{р\%}$  по приведенному выше выражению, выбирают по каталогу реактор с ближайшим большим сопротивлением, выраженном в процентах  $x_{н.р.\%}$  (или в Ом).  
Значение  $x_{н.р.\%}$  выбранного реактора ограничивается допустимой потерей напряжения в рабочем режиме  $\Delta U_{р\%}$ , которая должна быть не более 4-5% от  $U_{н.}$

$$\Delta U_{р\%} = x_{н.в.р.\%} \frac{I_{раб.мах.}}{I_{н.р.}} \cdot \sin \varphi ,$$

где  $\varphi$  – фазный угол нагрузки.

Для двояных реакторов при одинаковом токе в ветвях

$$\Delta U_{р\%} = x_{н.в.р.\%} \frac{I_{раб.мах.ветв.}}{I_{н.р.}} (1 - k_{св}) \cdot \sin \varphi ,$$

где  $k_{св}$  – коэффициент связи (0,4 ÷ 0,6);

$x_{н.в.р.}$  – сопротивление ветви реактора в %;

$I_{раб.мах.ветв.}$  – максимальный рабочий ток ветви реактора.

Групповые реакторы на отходящих присоединениях применяют во всех случаях, когда присоединения можно объединить, и если на них  $\Delta U_{р\%} < 4 \div 5 \%$ .

Если  $\Delta U_{р\%} > 5\%$ , то для снижения  $\Delta U_{р\%}$  используют индивидуальные простые или двояные реакторы. Остаточное напряжение на шинах 6-10 кВ при КЗ за реактором на отходящей линии определяется из соотношения

$$U_{ост\%} = x_{н.р.\%} \frac{I_{к}}{I_{н.р.}} \geq 0.6 U_{н} ,$$

где  $U_{н}$  равняется 6 кВ или 10 кВ.

Если реакторы устанавливаются на линиях, питающих двигатели ответственных механизмов, необходимо производить проверку по условиям обеспечения самозапуска.

После выбора реактора по номинальным параметрам, проверки на значение остаточного напряжения на шинах при к.з. за реактором и проверки на величину допустимой потери напряжения в нормальном режиме производится проверка реактора на действие токов к.з. Реактор должен быть термически и динамически устойчивым к токам к.з.

Выбор реактора		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$i_{y\delta} = \sqrt{2} I_{no} \cdot K_{y\delta}$ $I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{ном}}$ $X_{рез} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} I_{no}}$ $X_{рез}^{треб} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} I_{но.треб}}$ $X_p^{треб} = X_{рез}^{треб} - X_{рез}$ $X'_{рез} = X_{рез} + X_p$ $I_{no} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} X'_{рез}}$ $B_K = I_{no}^2 (B_k^* t_{отк} + T_a)$	$U_{ном}$ $I_{ном}$ $i_{дин}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $I_{ном} \geq I_{max}$ $i_{дин} \geq i_{y\delta}$ $I_t^2 t_t \geq B_K$ $I_{ном} \geq 0.7 I_{ном,Г}$

### Выбор шинных конструкций, опорных и проходных изоляторов

Выбор опорных изоляторов		
<p>Для одиночных изоляторов</p> $F_{дон} = 0.6 F_{разр}$ $F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{y\delta}^2}{a} l K_h \cdot 10^{-7} = f_\phi l K_h$ $K_h = \frac{H}{H_{из}}$ $H = H_{из} + b + \frac{h}{2}$ <p>Для спаренных изоляторов</p> $F_{дон} = F_{разр}$	$U_{ном}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $F_{дон} \geq F_{расч}$

Выбор проходных изоляторов		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{ном}}$ $F_{дон} = 0.6 F_{разр}$ $F_{расч} = 0.5 f_\phi l$	$U_{ном}$ $I_{ном}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$ $F_{дон} \geq F_{расч}$ $I_{ном} \geq I_{max}$

Выбор шин		
Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{max} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{ном}}$ $\sigma_{max} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{i_{уд}^2 l^2}{Wa}$ $q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}$	$q$ $I_{длит, доп}$	$q \geq q_{min}$ $\sigma_{доп} \geq \sigma_{расч}$ $I_{длит, доп} \geq I_{max}$

### Выбор кабелей

Кабели широко применяются в электроустановках. Потребители 6-10 кВ, как правило, получают питание по кабельным линиям, которые сначала прокладываются в кабельных туннелях в распределительном устройстве, а затем в земле (в траншеях).

Для присоединения потребителей собственных нужд электростанций и подстанций к соответствующим шинам также используются кабели 6 и 0,4 кВ.

Эти кабели прокладываются в кабельных полуэтажах, кабельных туннелях, на металлических лотках, укрепленных на стенах и конструкциях здания или открытого распределительного устройства.

Чтобы обеспечить пожарную безопасность в производственных помещениях ТЭС и АЭС, рекомендуется применять кабели, у которых изоляция, оболочка и покрытия выполнены из невоспламеняющихся материалов, например из самозатухающего полиэтилена или поливинилхлоридного пластика.

В зависимости от места прокладки, свойств среды, механических усилий, воздействующих на кабель, рекомендуются различные марки кабелей (табл.).

Таблица. Кабели, рекомендуемые для прокладки в земле и воздухе

Область применения	С бумажной пропитанной изоляцией	С пластмассовой и резиновой изоляцией
В земле (в траншеях) со средней коррозионной активностью: без блуждающих токов с наличием блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААПл ААШп, ААБ2л, ААП2л ААШпсУ	АПвБ6Шв, АПВГ, АВБ6Шв АПАШв, АПАШп, АВАШв
Прокладка в туннелях, каналах, кабельных полуэтажах, производственных помещениях: сухих сырых сырых с высокой коррозионной активностью	ААГ, ААШв, ААБлГ ААШв, ААБлГ, ААБв ААШв, ААБвГ, ААБ2лШв, ЦААШпсУ ААГ, ААШв, ААБвГ	АВВГ, АВРГ, АПВГ АВВБГ, АВРБГ АВБ6Шв, АПАШв
Прокладка в пожароопасных помещениях		АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АВВБГ, АВВБ6Г, АВБ6Шв, ПвБВнг

**Кабели** выбирают по:

- 1) по напряжению установки  $U_{ном} \geq U_{сет.ном}$ ;
- 2) по конструкции (см. табл. 5.3);
- 3) по экономической плотности тока  $q_3 = \frac{I_{норм}}{J_3}$ ;
- 4) по допустимому току  $I_{мак} \leq I_{доп}$ ,

где  $I_{доп}$  - длительно допустимый ток с учетом поправки на число рядом положенных в земле кабелей  $k_1$  и на температуру окружающей среды  $k_2$ :  $I_{доп} = k_1 k_2 I_{доп.ном}$ .

Здесь  $I_{доп.ном}$  - допустимый ток при нормированной температуре жил, °С; согласно ПУЭ для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией равен  $\vartheta_{доп} = +65^\circ\text{C}$ , для кабелей до 35 кВ с изоляцией из пропитанной кабельной бумаги в свинцовой, алюминиевой или поливинилхлоридной оболочке приняты:

$U_{ном}, \text{кВ}$ .....	До 3	6	10	20 и 35
$\vartheta_{доп}, ^\circ\text{C}$ .....	+80	+65	+60	+50

Поправочные коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , допустимый ток находят по справочникам или ПУЭ.

При выборе сечения кабелей следует учитывать их допустимую перегрузку, определяемую по п. 1.3.5 и 1.3.6 ПУЭ в зависимости от вида прокладки, длительности максимума и предварительной нагрузки.

Выбранные по нормальному режиму кабели проверяют на термическую стойкость по условию  $\vartheta_k \leq \vartheta_{к.доп}$  или  $q_{min} \leq q$ .

При этом кабели небольшой длины проверяют по току при КЗ в начале кабеля; одиночные кабели со ступенчатым сечением по длине проверяют по току при КЗ в начале каждого участка. Два параллельных кабеля и более проверяют по токам при КЗ непосредственно за пучком кабелей, т. е. с учетом разветвления тока КЗ.

Таблица. Экономическая плотность тока

Проводник	При $T_{max}, \text{ч}$		
	1000 – 3000	3000 – 5000	Более 5000
Неизолированные провода и шины: медные алюминиевые	2,5	2,1	1,8
	1,3	1,1	1
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляция с жилами: медными алюминиевыми	3	2,5	2
	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами: медными алюминиевыми	3,5	3,1	2,7
	1,9	1,7	1,6

## ВЫБОР ШИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Выбор шин сводится к определению сечения и их проверке на электродинамическую и термическую устойчивость к токам к.з. Сечение шин выбирается по длительному току нагрузки  $I_{дон} \geq I_{раб.мах}$ . К расчету принимается большее сечение. По экономической плотности тока не выбираются сборные шины РУ, цепи резервного питания, цепи шиносоединительного и секционного выключателей.

Основное электрическое оборудование электростанций и подстанций (генераторы, трансформаторы, синхронные компенсаторы) и аппараты в этих цепях (выключатели, разъединители и др.) соединены между собой различными проводниками, образующими токоведущие части электроустановки. На рис. упрощенно показаны элементы схем ТЭЦ, КЭС и подстанции.

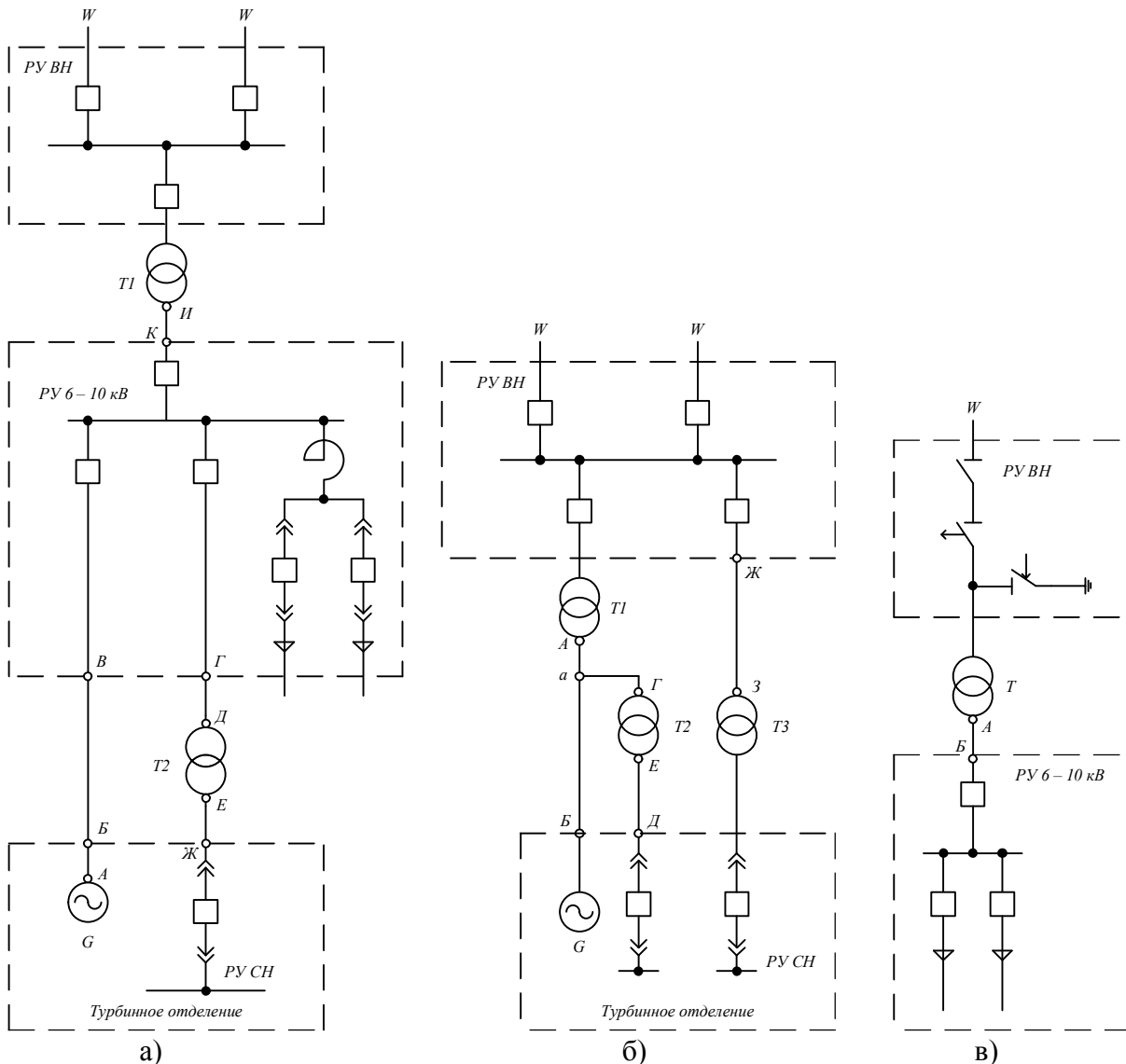


Рис. К выбору проводников в основных электрических цепях: элементы схем ТЭЦ (а); КЭС и АЭС (б); подстанции (в)

В пределах турбинного отделения от выводов генератора *G* до фасадной стены (участок *АБ*) токоведущие части выполняются шинным мостом из жестких голых алюминиевых шин или комплектным пофазно-экранированным токопроводом (в цепях генераторов мощностью 60 МВт и выше).

На участке *БВ* между турбинным отделением и главным распределительным устройством (ГРУ) соединение выполняется шинным мостом или гибким подвесным

токопроводом. Все соединения внутри закрытого РУ 6-10 кВ, включая сборные шины, выполняются жесткими голыми алюминиевыми шинами прямоугольного или коробчатого сечения. Соединение от ГРУ до выводов трансформатора связи Т1 (участок ИК) осуществляется шинным мостом или гибким подвесным токопроводом.

Токоведущие части в РУ 35 кВ и выше обычно выполняются сталеалюминиевыми проводами. В некоторых конструкциях ОРУ часть или вся ошиновка может выполняться алюминиевыми трубами.

Цепь трансформатора собственных нужд показана на рис.а. От стены ГРУ до выводов Т2, установленного вблизи ГРУ, соединение выполняется жесткими алюминиевыми шинами. Если трансформатор собственных нужд устанавливается у фасадной стены главного корпуса, то участок ГД выполняется гибким токопроводом. От трансформатора до распределительного устройства собственных нужд (участок ЕЖ) применяется кабельное соединение.

В цепях линий 6-10 кВ вся ошиновка до реактора и за ним, а также в шкафах КРУ выполнена прямоугольными алюминиевыми шинами. Непосредственно к потребителю отходят кабельные линии.

В блоке генератор-трансформатор на КЭС участок АВ и отпайка к трансформатору собственных нужд ВГ (рис. б) выполняются комплектным пофазно-экранированным токопроводом.

Для участка ЕД от Т2 до распределительного устройства собственных нужд применяется закрытый токопровод 6 кВ.

В цепи резервного трансформатора собственных нужд участок ЖЗ может быть выполнен кабелем или гибким проводом. Выбор того или другого способа соединения зависит от взаимного расположения ОРУ, главного корпуса и резервного ТЗ. Так же как на ТЭЦ, вся ошиновка в РУ 35 кВ и выше выполняется проводами АС.

На подстанциях, в открытой части, могут применяться провода АС или жесткая ошиновка алюминиевыми трубами.

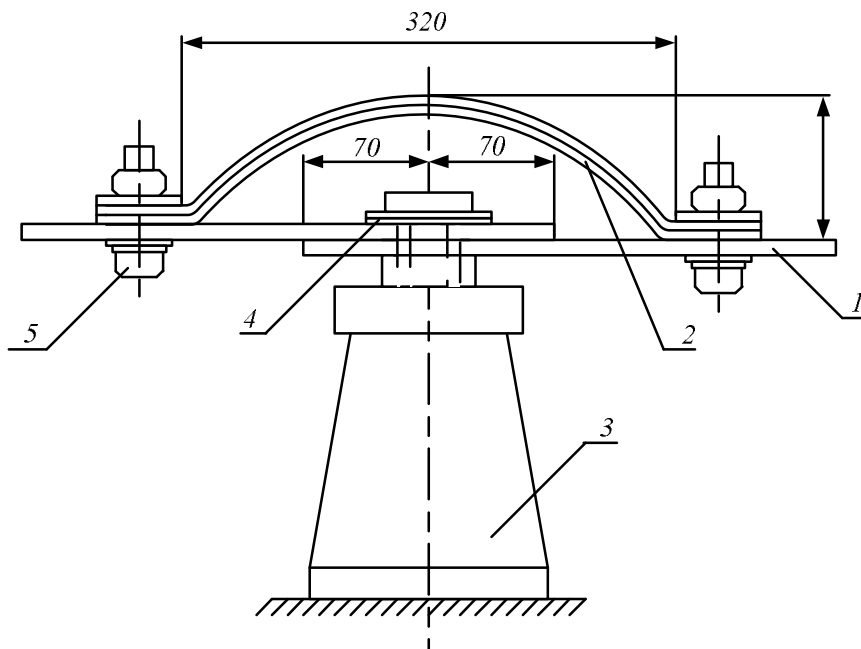
Соединение трансформатора с закрытым РУ 6-10 кВ или с КРУ 6-10 кВ осуществляется гибким подвесным токопроводом, шинным мостом или закрытым комплектным токопроводом. В РУ 6-10 кВ применяется жесткая ошиновка.

### **Выбор жестких шин**

Как сказано выше, в закрытых РУ 6-10 кВ ошиновка и сборные шины выполняются жесткими алюминиевыми шинами. Медные шины из-за высокой их стоимости не применяются даже при больших токовых нагрузках. При токах до 3000 А применяются одно- и двухполосные шины. При больших токах рекомендуются шины коробчатого сечения, так как они обеспечивают меньшие потери от эффекта близости и поверхностного эффекта, а также лучшие условия охлаждения. Например, при токе 2650 А необходимы трехполосные алюминиевые шины размером 60x10 мм или коробчатые 2x695 мм<sup>2</sup> с допустимым током 2670 А. В первом случае общее сечение шин составляет 1800 мм<sup>2</sup>, во втором - 1390 мм<sup>2</sup>. Как видно, допустимая плотность тока в коробчатых шинах значительно больше (1,92 вместо 1,47 А/мм<sup>2</sup>).

Сборные шины и ответвления от них к электрическим аппаратам (ошиновка) 6-10 кВ из проводников прямоугольного или коробчатого профиля крепятся на опорных фарфоровых изоляторах. Шинодержатели, с помощью которых шины закреплены на изоляторах, допускают продольное смещение шин при их удлинении вследствие нагрева. При большой длине шин устанавливаются компенсаторы из тонких полосок того же материала, что и шины (рис.).

Концы шин на изоляторе имеют скользящее крепление через продольные овальные отверстия и шпильку с пружинящей шайбой. В местах присоединения к аппаратам изгибают шины или устанавливают компенсаторы, чтобы усилие, возникающее при температурных удлинениях шин, не передавалось на аппарат. Эскизы различных способов расположения шин на изоляторах показаны на рис.



1- шина; 2 - компенсатор; 3 - опорный изолятор;  
4 - пружинящая шайба; 5 - болт.

Рис. Компенсатор для однополосных шин.

Соединение шин по длине обычно осуществляется сваркой. Присоединение алюминиевых шин к медным (латунным) зажимам аппаратов производится с помощью переходных зажимов, предотвращающих образование электролитической пары медь - алюминий.

Для лучшей теплоотдачи и удобства эксплуатации шины окрашивают при переменном токе: фаза *A* - в желтый, фаза *B* - в зеленый и фаза *C* - в красный цвета; при постоянном токе положительная шина - в красный, отрицательная - в синий цвета.

Согласно §1.3.28 ПУЭ сборные шины электроустановок и ошиновка в пределах открытых и закрытых РУ всех напряжений по экономической плотности тока не проверяются.

Выбор сечения шин производится по нагреву (по допустимому току). При этом учитываются не только нормальные, но и послеаварийные режимы, а также режимы в период ремонтов и возможность неравномерного распределения токов между секциями шин.

Условие выбора - сравнение  $I_{max} \leq I_{доп}$ .

где  $I_{доп}$  - допустимый ток на шины выбранного сечения с учетом поправки при расположении шин плашмя или температуре воздуха, отличной от принятой в таблицах ( $\Theta_{0,ном} = 25^\circ\text{C}$ ).

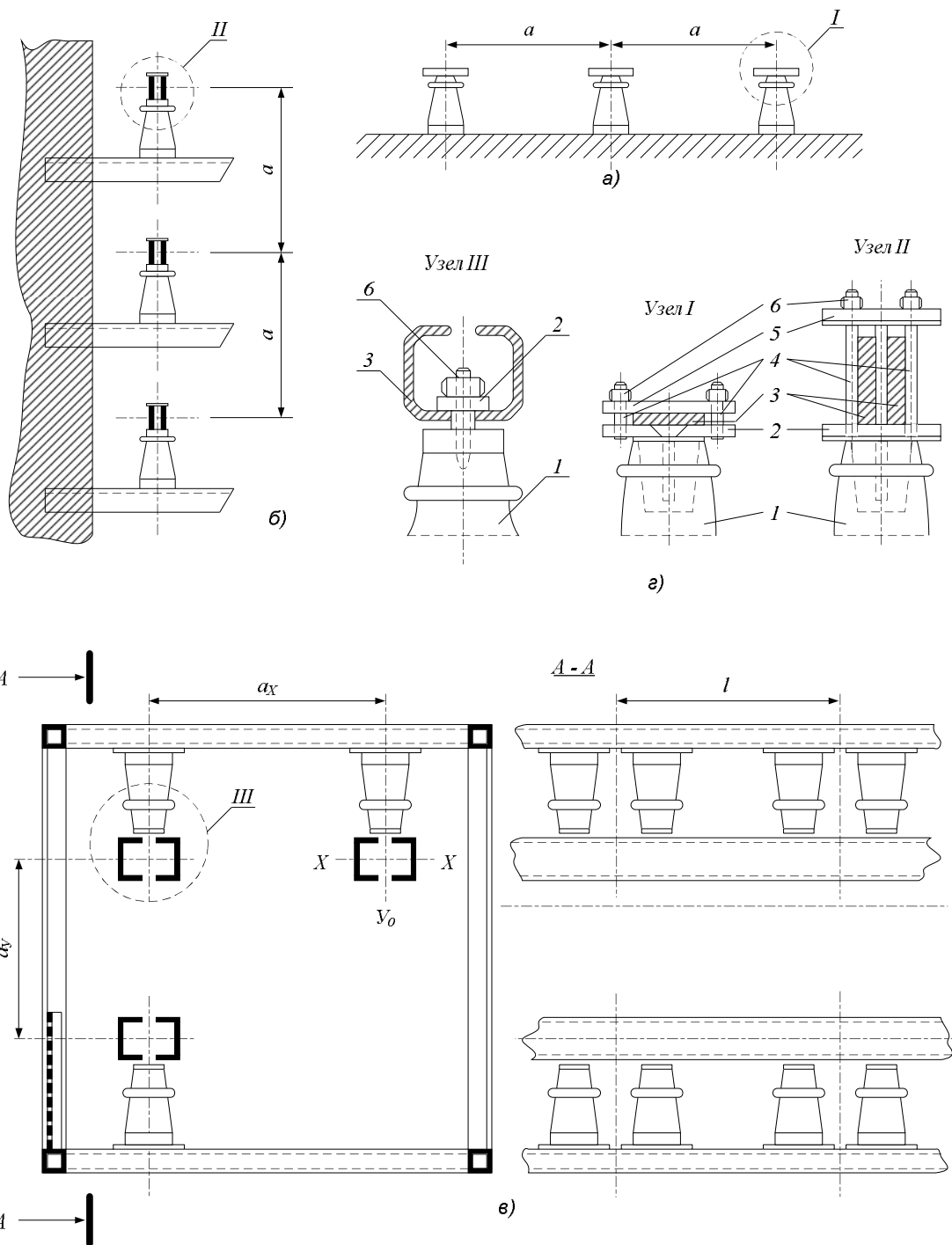
$$\text{Тогда } I_{доп} = I_{доп,ном} \sqrt{\frac{\Theta_{доп} - \Theta_0}{\Theta_{доп} - \Theta_{0,ном}}}.$$

Для неизолированных проводов и окрашенных шин принято  $\Theta_{доп} = 70^\circ\text{C}$ , в этом случае

$$I_{доп} = I_{доп,ном} \sqrt{\frac{70 - \Theta_0}{45}},$$

где  $I_{доп,ном}$  - допустимый ток, определяемый по таблицам, при температуре воздуха  $\Theta_{0,ном} = 25^\circ\text{C}$ ;  $\Theta_0$  - действительная температура воздуха;  $\Theta_{доп}$  - допустимая температура нагрева продолжительного режима (по §1.3.22 ПУЭ для шин принято  $+70^\circ\text{C}$ ).





а) горизонтальное; б) вертикальное; в) по вершинам треугольника; г) крепление шин в узлах I, II, III;

1 – опорный изолятор; 2 – стальная планка; 3 – шина;  
4 – стальная распорная трубка; 5 – алюминиевая планка; 6 – шпилька.

Рис. Эскизы расположения шин

Проверка шин на термическую стойкость производится по условию:

$$\Theta_K \leq \Theta_{K, \text{доп}} \text{ или } q_{\text{min}} \leq q,$$

где  $\Theta_K$  - температура шин при нагреве током КЗ;  $\Theta_{K, \text{доп}}$  - допустимая температура нагрева шин при КЗ;  $q_{\text{min}}$  - минимальное сечение по термической стойкости;  $q$  - выбранное сечение.

Более подробно проверка токоведущих частей по термической устойчивости показана далее.

Необходима проверка шин на электродинамическую стойкость. Жесткие шины, укрепленные на изоляторах, представляют собой динамическую колебательную систему, находящуюся под воздействием электродинамических сил. В такой системе возникают колебания, частота которых зависит от массы и жесткости конструкций. Электродинамические силы, возникающие при к.з., имеют составляющие, которые изменяются с частотой 50 и 100 Гц. Если собственные частоты колебательной системы шины-изоляторы совпадут с этими значениями, то нагрузки на шины и изоляторы возрастут. Если собственные частоты меньше 30 и больше 200 Гц, то механический резонанс не возникает. В большинстве практически применяемых конструкций шин эти условия соблюдаются, поэтому ПУЭ не требуют проверки на электродинамическую стойкость с учетом механических колебаний.

В частных случаях, например, при проектировании новых конструкций РУ с жесткими шинами, производится определение частоты собственных колебаний для

алюминиевых и медных шин соответственно  $f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}$ ;  $f_0 = \frac{125,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}$ ,

где  $l$  - длина пролета между изоляторами, м;

$J$  - момент инерции поперечного сечения шины относительно оси, перпендикулярной направлению изгибающей силы, см<sup>4</sup>;

$q$  - поперечное сечение шины, см<sup>2</sup>.

Изменяя пролет и форму сечения шин, добиваются исключения механического резонанса, т.е.  $f_0 < 200$  Гц. Тогда проверка на электродинамическую стойкость производится в предположении, что шины и изоляторы - статическая система с нагрузкой, равной максимальной электродинамической силе, возникающей при КЗ.

Если  $f_0 < 200$  Гц, то производится специальный расчет шин с учетом дополнительных динамических усилий, возникающих при механических колебаниях шинной конструкции.

#### Механический расчет однополосных шин

Наибольшее удельное усилие при трехфазном КЗ, Н/м определяется по выражению

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \times 10^{-7} \frac{i_y^{(3)2}}{\alpha}$$

Т.к. расстояние между фазами значительно больше периметра шин  $\alpha \gg 2(b + h)$ , то коэффициент формы -  $k_\phi = 1$ .

Наибольшие электродинамические усилия возникают при трехфазном коротком замыкании, поэтому в дальнейших расчетах учитывается величина ударного тока трехфазного к.з. Индексы (3) в формулах для упрощения опускаются.

Равномерно распределенная сила  $f$  создает изгибающий момент Н·м (шина рассматривается как многопролетная балка, свободно лежащая на опорах)  $M = \frac{f \times l^2}{10}$ ,

где  $l$  - пролет между опорными изоляторами шинной конструкции, м.

Напряжение в материале шины, возникающее при воздействии изгибающего момента, МПа

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W} = \frac{f \times l^2}{10W} = \sqrt{3} \times 10^{-8} \frac{i_y^2 l^2}{W_a}$$

где  $W$  - момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия, см<sup>3</sup> (табл.). Шины механически прочны, если  $\sigma_{расч} \leq \sigma_{дон}$ .

Здесь  $\sigma_{дон}$  - допустимое механическое напряжение в материале шин.

В электроустановках широко применяют пресованные шины (ГОСТ 15176-84) из алюминиевого сплава, закаленные и естественно состаренные (марка АД31Т) или

закаленные и искусственно состаренные (марка АД31Т1). Согласно § 1.4.15 ПУЭ

$$\sigma_{дон} \leq 0.7 \sigma_{разр}$$

Таблица 6.1. Моменты сопротивления и инерции

Расположение шин	Момент инерции	Момент сопротивления
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{hb^2}{6}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^2}{3}$
	$\frac{hb^3}{6}$	$\frac{hb^2}{3}$
	$0,72b^3h$	$1.44b^2h$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$
	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$

В табл. приведены ориентировочные значения допустимых напряжений с учетом снижения прочности шин в местах сварки.

Таблица. Механические характеристики материала шин

Материал	Марка	Разрушающее напряжение $\delta_{\text{разр}}$ , МПа	Допустимое напряжение $\delta_{\text{доп}}$ , МПа	Модуль упругости $E$ , Па
Алюминий	АДО	60-70	40	$7 \cdot 10^{10}$
Алюминиевый сплав	АД31Т	130	75	-
	АД31Т1	200	90	-
Медь	МГТ	250-300	140	$10 \cdot 10^{10}$
Сталь	Ст3	370-500	160	$20 \cdot 10^{10}$

### Механический расчет двухполосных шин.

Если каждая фаза выполняется из двух полос (рис.), то возникают усилия между полосами и между фазами.

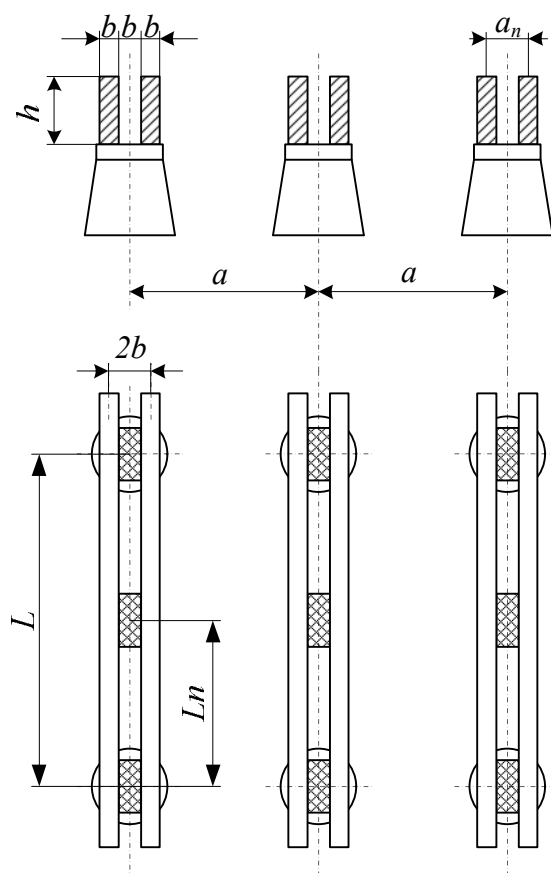


Рис. Эскиз расположения двухполосных шин.

Усилие между полосами не должно приводить к их соприкосновению. Чтобы уменьшить это усилие, в пролете между полосами устанавливают прокладки. Пролет между прокладками  $l_n$  выбирается таким образом, чтобы электродинамические силы, возникающие при КЗ, не вызывали соприкосновения полос:

$$l_n < 0.216 \sqrt{\frac{a_n}{i_y^{(3)}}} \sqrt[4]{\frac{EJ_n}{k_\phi}}.$$

Механическая система две полосы-изоляторы должна иметь частоту собственных колебаний больше 200 Гц, чтобы не произошло резкого увеличения усилия в результате механического резонанса. Исходя из этого, величина  $l_n$  выбирается еще по одному условию:

$$l_n < 0.133 \times 10^{-2} \sqrt[4]{\frac{EJ_n}{m_n}},$$

где  $a_n$  - расстояние между осями полос, см;  
 $J_n = hb^3/12$  - момент инерции полосы, см<sup>4</sup>;  
 $k_\phi$  - коэффициент формы (рис.6.5);  
 $m_n$  - масса полосы на единицу длины, кг/м;  
 $E$  - модуль упругости материала шин (табл.6.2).

В расчет принимается меньшая из двух величин, определенных по (6.9) и (6.10).

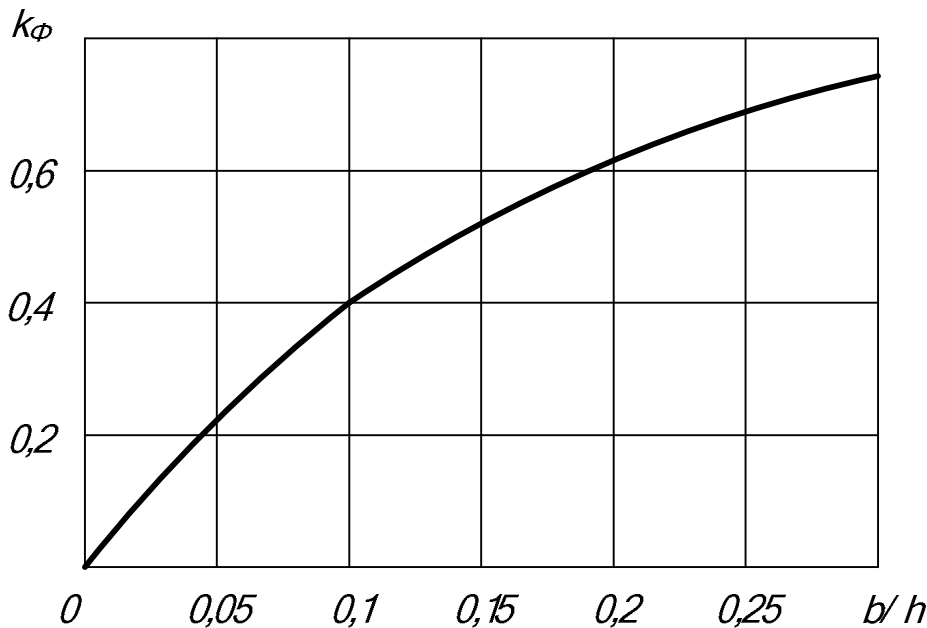


Рис. Кривые для определения коэффициента формы для двухполосных шин при  $a = 2b$

Силу взаимодействия между полосами в пакете из двух полос можно определить с учетом того, что  $i_1 = i_2 = i_y/2$ ;  $a = a_n = 2b$

$$f_n = 2 \cdot 10^{-7} k_\phi \left(\frac{i_y}{2}\right)^2 \frac{1}{2b} = \frac{k_\phi i_y^2}{4b} 10^{-7}.$$

Напряжение в материале шин от взаимодействия полос (шины рассматриваются как балки с равномерно распределенной нагрузкой и заземленными концами), МПа

$$\sigma_n = \frac{f_n l_n^2}{12W_n},$$

где  $W_n$  - момент сопротивления одной полосы, см<sup>3</sup>;  
 $l_n$  - расстояние между прокладками, м.

Напряжение в материале шин от взаимодействия фаз определяется по выражению

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{l^2}{aW_{\phi}} i_y^2,$$

где  $l$  - длина пролета между изоляторами, м;  
 $W_{\phi}$  - момент сопротивления пакета шин (табл.), см<sup>3</sup>.

### Механический расчет шин коробчатого сечения

Шины коробчатого сечения имеют значительно больший момент инерции, чем шины прямоугольного сечения.

Например, шина сечением 100x10 мм<sup>2</sup> при расположении на ребро имеет момент инерции, равный  $J = \frac{hb^3}{12} = \frac{10 \cdot 1^3}{12} = 0,83 \text{ см}^4$ , а одна шина швеллерного профиля сечением 1010 мм<sup>2</sup> имеет  $J_{y-y} = 18,5 \text{ см}^4$ .

Соответственно при расположении прямоугольной шины плашмя  $J = \frac{hb^3}{12} = \frac{10^3 \cdot 1}{12} = 83 \text{ см}^4$ , а для швеллерной шины  $J_{x-x} = 135 \text{ см}^4$ .

Следовательно, в шинах коробчатого сечения частота собственных колебаний  $f_0$  значительно больше, чем для шин прямоугольного сечения. Это позволяет производить расчет без учета механических колебаний.

Напряжение в материале шин от взаимодействия фаз определяется с учетом расположения шин: если шины расположены в горизонтальной плоскости (рис.6.6, а) и швеллеры соединены жестко между собой, то  $W = W_{y_0-y_0}$ ; при отсутствии жесткого соединения  $W = 2W_{y-y}$ ; если шины расположены в вертикальной плоскости (рис.6.6, б), то  $W = 2W_{x-x}$ .

Сила взаимодействия между швеллерами (рис.6.6,в), составляющими шину коробчатого профиля, определяется при условии  $k_{\phi} = 1$ ,  $a = h$ ,  $i_1 = i_2 = i_y/2$ :

$$f_n = 0,5 \frac{i_y^2}{h} 10^{-7}.$$

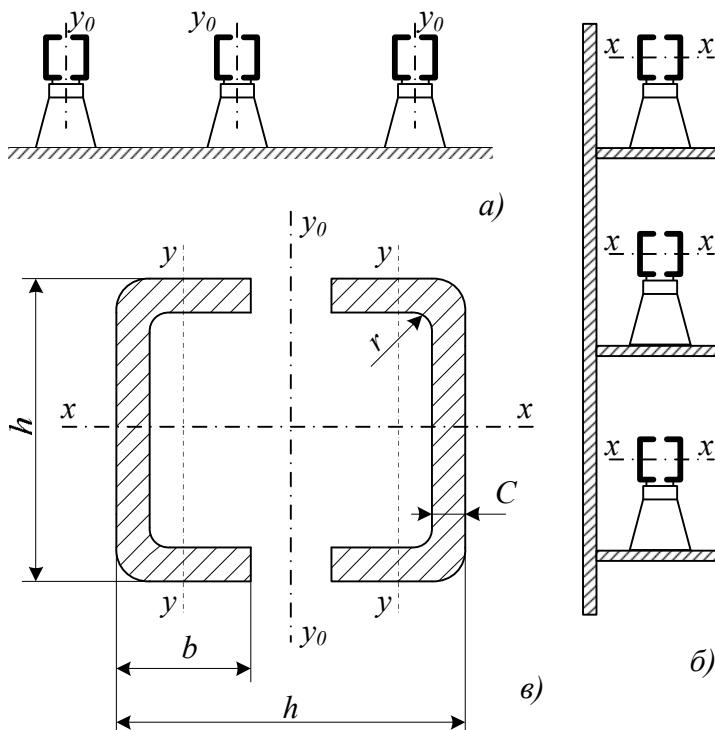


Рис. К расчету шин коробчатого сечения

Напряжение в материале шин от действия силы  $f_n$  определяется по выражению

$$\sigma_n = \frac{f_n l_n^2}{12W_n},$$

где  $W_n = W_{y-y}$ .

Если шины соединены жестко по всей длине, то  $\sigma_n = 0$ .

Шины механически прочны, если соблюдается условие  $\sigma_{расч} = \sigma_\phi + \sigma_n \leq \sigma_{доп}$ .

### Механический расчет шин, расположенных по вершинам равностороннего треугольника

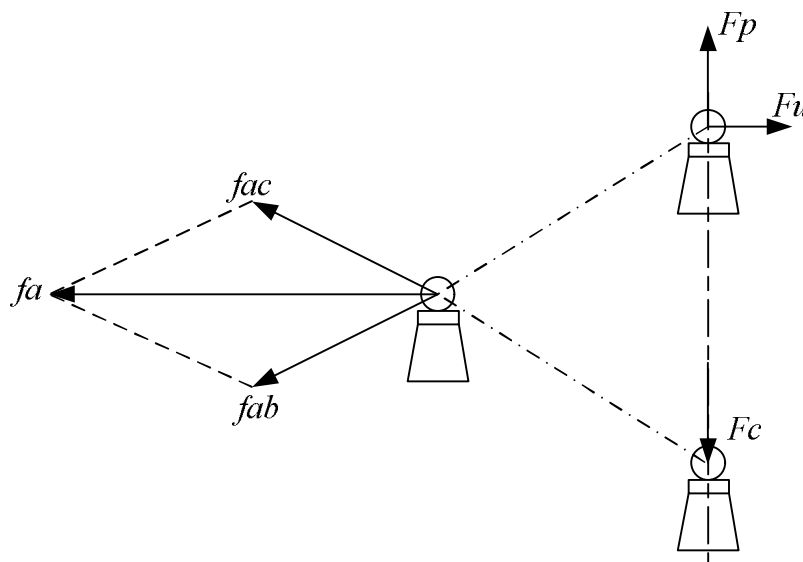


Рис. К расчету шин, расположенных в вершинах треугольника

Шины всех фаз находятся в одинаковых условиях. На шину фазы  $A$  действуют силы  $f_{ac}$  и  $f_{ab}$ , которые определяются по (6.7), но, в отличие от горизонтального расположения, векторы сил сдвинуты в пространстве на угол  $60^\circ$ . Результирующая сила  $f_a$  меняется не только по значению с частотой  $2\omega t$ , но и по направлению, создавая растягивающие  $F_p$ , изгибающие  $F_u$  и сжимающие  $F_c$  усилия на изоляторы (конец вектора  $f_a$  скользит по окружности).

Не приводя здесь вывода, следует сказать, что максимальная сила взаимодействия оказывается равной силе, действующей на фазу  $B$  при горизонтальном расположении шин, Н/м

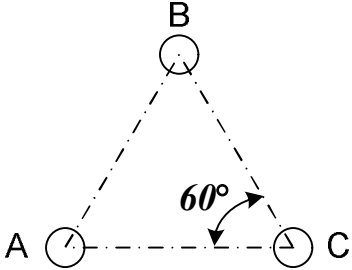
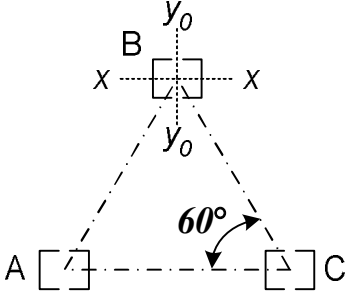
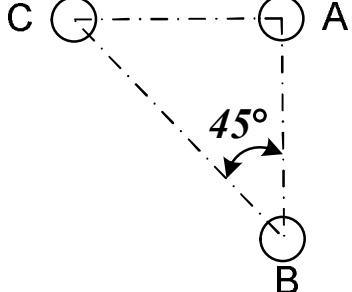
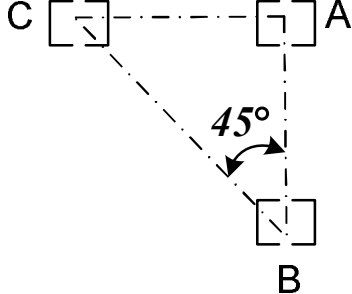
$$f_\phi = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{i_y^2}{a}.$$

Если шины расположены по вершинам прямоугольного треугольника, то определение возникающих усилий усложняется, так как фазы находятся в различных условиях.

В табл.6.3 приведены расчетные формулы для определения  $\sigma_{\phi, \max}$  и сил, действующих на изоляторы трубчатых и коробчатых шин, расположенных в вершинах треугольника.

Определение  $\sigma_n$  или  $I_{n, \max}$  в коробчатых шинах производится так же, как при горизонтальном или вертикальном расположении шин.

Таблица 6.3. Расчетные формулы для определения  $\sigma_{\phi, \max}$  и сил, действующих на изоляторы

Расположение шин	Напряжение в материале шин от взаимодействия между фазами, МПа	Силы, действующие на изолятор, Н
	$\sigma_{\phi \max} = \sqrt{3} \frac{i_y^2 l^2}{aW} 10^{-8}$	$F_p = \sqrt{3} \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$ $F_u = 1,62 \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$ $F_c = 1,3 \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$
	$\sigma_{\phi \max} = 2,5 \frac{i_y^2 l^2}{aW_{y0-y0}} 10^{-8}$	$F_c = 1,3 \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$
	$\sigma_{\phi \max} = 1,64 \frac{i_y^2 l^2}{aW} 10^{-8}$	$F_p = 1,5 \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$ $F_u = 1,62 \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$
	$\sigma_{\phi \max} = 2,2 \frac{i_y^2 l^2}{aW_{y0-y0}} 10^{-8}$	$F_c = 1,62 \frac{i_y^2 l}{a} 10^{-7}$

Примечание. В расчетных формулах  $i$  - в амперах;  $l$  и  $a$  - в метрах;  $W$  - в кубических сантиметрах.



### Выбор изоляторов.

В распределительных устройствах шины крепятся на опорных, проходных и подвесных изоляторах.

#### Опорные изоляторы

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

по номинальному напряжению  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;

по допустимой нагрузке  $F_{расч} \leq F_{доп}$ ,

где  $F_{расч}$  - сила, действующая на изолятор;

$F_{доп}$  - допустимая нагрузка на головку изолятора:  $F_{доп} = 0,6 F_{разр}$ ;

$F_{разр}$  - разрушающая нагрузка на изгиб.

При горизонтальном или вертикальном расположении изоляторов всех фаз расчетная сила  $N$  определяется по выражению:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_y^2}{a} l k_h \cdot 10^{-7} = f_{\phi} l k_h,$$

где  $k_h$  - поправочный коэффициент на высоту шины, если она расположена на ребро (рис.):

$$k_h = \frac{H}{H_{из}}; H = H_{из} + b + \frac{h}{2}.$$

Здесь  $H_{из}$  - высота изолятора.

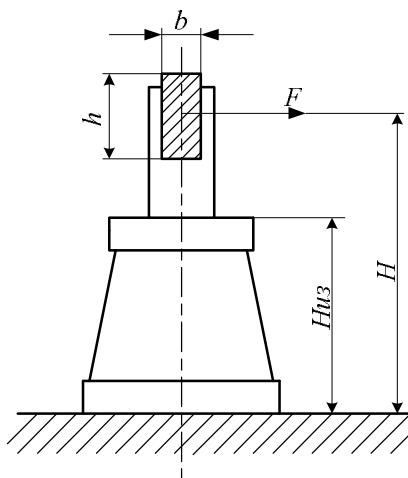


Рис. К определению расчетной нагрузки на изолятор

При расположении шин в вершинах треугольника расчетная сила равна  $F_{расч} = k_h F_u$  (см.табл.).

#### Проходные изоляторы

Проходные изоляторы выбираются по следующим условиям:

по напряжению  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;

по номинальному току  $I_{max} \leq I_{ном}$ ;

по допустимой нагрузке  $F_{расч} \leq F_{доп}$ .

Для проходных изоляторов расчетная сила  $N$ :

$$F_{расч} = 0.5 f_{\phi} l.$$

### Выбор гибких шин и токопроводов

В РУ 35 кВ и выше применяются гибкие шины, выполненные проводами АС. Гибкие токопроводы для соединения генераторов и трансформаторов с РУ 6-10 кВ выполняются пучком проводов, закрепленных по окружности в кольцах-обоймах. Два провода из пучка - сталеалюминиевые - несут в основном механическую нагрузку от собственного веса, гололеда и ветра. Остальные провода - алюминиевые - являются только токоведущими. Сечения отдельных проводов в пучке рекомендуется выбирать возможно большими (500, 600 мм<sup>2</sup>), т.к. это уменьшает число проводов и стоимость токопровода.

Гибкие провода применяются для соединения блочных трансформаторов с ОРУ.

Проверка сечения на нагрев (по допустимому току) производится по  $I_{max} \leq I_{дон}$ .

Выбранное сечение проверяется на термическое действие тока к.з.

$$g_k \leq g_{k,дон}; q_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \leq q.$$

При проверке на термическую стойкость проводников линий, оборудованных устройствами быстродействующего АПВ, должно учитываться повышение нагрева из-за увеличения продолжительности прохождения тока к.з. Расщепленные провода ВЛ при проверке на нагрев в условиях к.з. рассматриваются как один провод суммарного сечения.

На электродинамическое действие тока КЗ проверяются гибкие шины РУ при  $I_k^{(3)} \geq 20 \text{ кА}$  и провода ВЛ при  $i_p \geq 50 \text{ кА}$ .

При больших токах к.з. провода в фазах в результате динамического взаимодействия могут настолько сблизиться, что произойдет схлестывание или пробой между фазами.

Наибольшее сближение фаз наблюдается при двухфазном к.з. между соседними фазами, когда провода сначала отбрасываются в противоположные стороны, а затем после отключения тока к.з. движутся навстречу друг другу. Их сближение будет тем больше, чем меньше расстояние между фазами, чем больше стрела провеса и чем больше длительность протекания и значение тока к.з.

Определяется усилие от длительного протекания тока двухфазного КЗ, Н/м

$$f = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I^{(2)2}}{a},$$

где  $a$  - расстояние между фазами, м. (Для ОРУ расстояние между фазами принято обозначать буквой  $D$ );

$I^{(2)}$  - среднеквадратичное значение (за время прохождения) тока двухфазного КЗ.

С достаточной точностью для расчетов можно принять

$$I^{(2)} = I_{n,0}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{n,0}^3.$$

Подставляя эти величины, получаем усилие Н/м:

$$f = \frac{1,5 I_{n,0}^{(3)2}}{D} \cdot 10^{-7}.$$

Определяем силу тяжести 1 м токопровода с учетом внутрифазных распорок, Н/м:  $g = 1,1 \cdot 9,8m$ , где  $m$  - масса 1 м токопровода, кг.

Определяем отношение

$$\sqrt{h}/t_{эк},$$

где  $h$  - максимальная расчетная стрела провеса провода в каждом пролете при максимальной расчетной температуре, м;

$t_{эк}$  - эквивалентное по импульсу время действия быстродействующей защиты, с.

Для цепей генераторов и трансформаторов в среднем  $t_{эк} = t_3 + 0,05$ ,

где  $t_3$  - действительная выдержка времени защиты от токов к.з.;

0,05 - учитывает влияние апериодической составляющей.

По диаграмме (рис.) в зависимости  $f/g$  и  $\sqrt{h}/t_{3к}$  определяем отклонение провода  $b$ ,  $m$ , и угол  $\alpha$ .

Найденное значение сравниваем с максимально допустимым:  $b_{доп} = \frac{D-d-a_{доп}}{2}$ ,

где  $d$  - диаметр токопровода;  $a_{доп}$  - наименьшее допустимое расстояние в свету между соседними фазами в момент их наибольшего сближения.

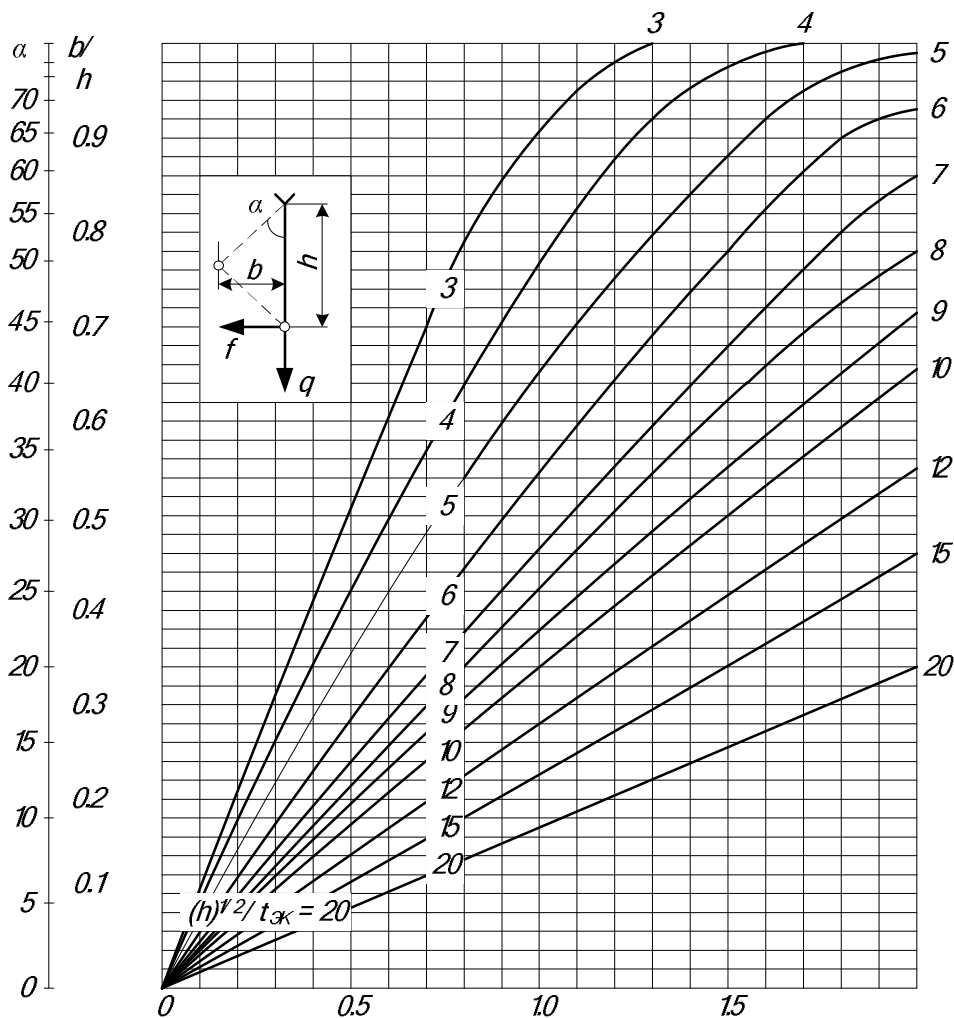


Рис. Диаграмма определения отклонения гибкого токопровода с горизонтальным расположением фаз под действием токов к.з.

Для токопроводов генераторного напряжения  $a_{доп}=0,2м$ , для ОРУ, согласно ПУЭ: при напряжении 110 кВ - 0,45 м; 150 кВ - 0,6 м; 220 кВ - 0,95м, 330 кВ - 1,4 м; 500 кВ - 2 м.

Если окажется, что  $b > b_{доп}$ , то необходимо уменьшить стрелу провеса или увеличить расстояние между фазами. В гибких подвесных токопроводах уменьшение стрелы провеса может привести к значительному увеличению механических напряжений в проводе, а увеличение расстояния между фазами ведет к увеличению размеров ОРУ. Поэтому в некоторых случаях устанавливают поперечные распорки, присоединяемые к фазам через изоляторы, что позволяет не увеличивать расстояние между фазами и не уменьшать стрелу провеса. Когда все же необходимо уменьшить стрелу провеса, устанавливают дополнительные опоры, т. е. фактически уменьшают пролет, чтобы сохранить механическое напряжение в проводах в допустимых пределах.

Гибкие токопроводы с расщепленными фазами проверяются также по электродинамическому взаимодействию проводников одной фазы. Расчет производится в следующем порядке.

Усилие на каждый провод от взаимодействия со всеми остальными  $n-1$  проводами составляет Н/м:

$$f_u = \frac{n-1}{n^2} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_{n,0}^{(3)2}}{d},$$

где  $n$  - число проводов в фазе;

$d$  - диаметр фазы, м;

$I_{n,0}^{(3)}$  - действующее значение тока трехфазного к.з., А.

Под действием импульсных усилий  $f_u$  проводники фазы стремятся приблизиться к центру. Для фиксации проводов и уменьшения импульсных усилий в них устанавливают внутрифазовые (дистанционные) распорки. Расстояние между распорками должно быть, м

$$l_p = k \sigma_{max} 10^3 \times \sqrt{\frac{(k-1) \sigma_{max} 24 \beta}{(\gamma_k + k \gamma_1)(\gamma_k - k \gamma_1)}},$$

где  $k=1,8$  - коэффициент допустимого увеличения механического напряжения в проводе при КЗ;

$\sigma_{max}$  - максимальное напряжение в проводе при нормальном режиме, МПа (при температуре 40°C или при гололеде и температуре -5° С) равняется

$$\sigma_{max} = \frac{T_{\phi, max}}{nq};$$

здесь  $T_{\phi, max}$  - максимальное тяжение на фазу в нормальном

режиме, Н;

$\beta$  - коэффициент упругого удлинения материала провода (для алюминия  $\beta = 159 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>/Н);

$\gamma_1$  - удельная нагрузка от собственной массы провода, МПа/м;

$\gamma_k$  - удельная нагрузка от сил взаимодействия при КЗ, МПа/м равная  $\gamma_k = \frac{f_u}{q}$ ;

здесь  $q$  - сечение провода, мм<sup>2</sup>.

Максимальное тяжение на фазу определяется при механическом расчете проводов гибкой связи одновременно с определением максимальной стрелы провеса.

На участках токопровода вблизи источников питания расстояние между дистанционными распорками может составлять всего 3-5 м, а на удаленных пролетах по мере уменьшения токов к.з. это расстояние возрастает. Если по условию электродинамической стойкости дистанционных распорок не требуется, их устанавливают через 15 м для фиксации проводов расщепленной фазы.

Проверка по условиям короны необходима для гибких проводников при напряжении 35 кВ и выше. Разряд в виде короны возникает около провода при высоких напряженностях электрического поля и сопровождается потрескиванием и свечением. Процессы ионизации воздуха вокруг провода приводят к дополнительным потерям энергии, к возникновению электромагнитных колебаний, создающих радиопомехи, и к образованию озона, вредно влияющего на поверхности контактных соединений. Правильный выбор проводников должен обеспечить уменьшение действия короны до допустимых значений.

Рассмотрим порядок расчета для выбора сечения проводов по условиям короны.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля, кВ/см:

$$E_0 = 30,3m \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right),$$

где  $m$  - коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности провода (для многопроволочных проводов  $m = 0,82$ );

$r_0$  - радиус провода, см.

Напряженность электрического поля около поверхности нерасщепленного провода определяется по выражению

$$E = \frac{0,354U}{r_0 \lg \frac{D_{cp}}{r_0}},$$

где  $U$  - линейное напряжение, кВ;

$D_{cp}$  - среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз

$$D_{cp} = 1,26D,$$

здесь  $D$  - расстояние между соседними фазами, см.

В распределительных устройствах 330 кВ и выше каждая фаза для уменьшения коронирования выполняется двумя, тремя или четырьмя проводами, т. е. применяются расщепленные провода (рис.).

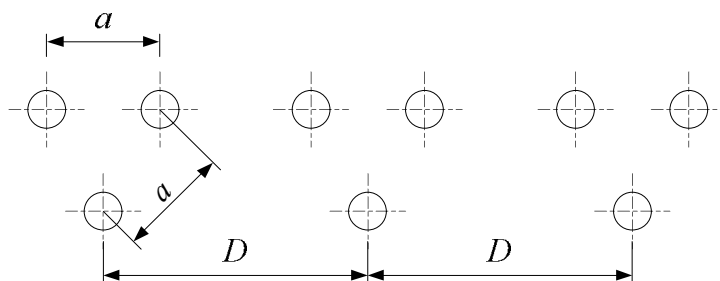


Рис. Расположение расщепленных проводов

В отдельных случаях расщепленные провода применяются также на линиях 220 кВ. Напряженность электрического поля (максимальное значение) вокруг расщепленных проводов, кВ/см:

$$E = k \frac{0,354U}{nr_0 \lg \frac{D_{cp}}{r_{эк}}},$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий число проводов  $n$  в фазе;

$r_{эк}$  - эквивалентный радиус расщепленных проводов (табл.).

Таблица. Значения  $k$  и  $r$

Данные	Число проводов в фазе		
	2	3	4
Коэффициент $k$	$1 + 2 \frac{r_0}{a}$	$1 + 2\sqrt{3} \frac{r_0}{a}$	$1 + 3\sqrt{2} \frac{r_0}{a}$
Эквивалентный радиус $r_{эк}$ , см	$\sqrt{r_0 a}$	$\sqrt[3]{r_0 a^2}$	$\sqrt[4]{\sqrt{2} r_0 a^3}$

Расстояние между проводами в расщепленной фазе  $a$  принимается в установках 220 кВ – 20-30 см, в установках 330-750 кВ – 40 см.

Провода не будут коронировать, если наибольшая напряженность поля у поверхности любого провода не более  $0,9E_0$ . Таким образом, условие образования короны можно записать в виде:  $1,07E \leq 0,9E_0$ .

Проверка шин на термическую устойчивость токам короткого замыкания

При проверке шин на термическую устойчивость должно выполняться условие

$$B_k \leq I_t^2 t.$$

Минимально допускаемое сечение шин по условию термической устойчивости определяется выражением

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}.$$

При отсутствии точных данных допускается принимать  $C$  равным: для медных шин и кабелей – 165; для алюминиевых шин и кабелей – 88; для стальных шин – 70.

При сопоставлении значений  $q_{min}$  и  $q_{табл}$  должно быть выполнено соотношение  $q_{min} \leq q_{табл}$ .

Если имеются точные данные о проводниках, то величина  $C$  определяется по выражению

$$C = \sqrt{A_k - A_n} = const,$$

где  $A_k$  и  $A_n$  - соответственно абсциссы зависимости, определяемые по кривым, для начальной температуры проводника до к.з. и для допустимой предельной температуры, характеризующей допустимое состояние проводников в конце короткого замыкания.

В справочной литературе имеются зависимости  $A=f(\theta)$  для проводников из различных материалов.

Зная температуру в доаварийном режиме  $\theta_n$ , определяют  $A_n$  (величина  $A_n$  обычно определяется при  $\theta_n=70^0$  С).

Значение  $A_k$  определяют также по этим кривым по значению  $\theta_{к,доп}$  ( $\theta_{к,доп}=200^0$ С для алюминиевых шин,  $300^0$ С для медных,  $400^0$ С для стальных).

Затем по выражению (6.26) определяется величина  $q_{min}$  и сравнивается с табличной по выражению (6.27).

Если ток нагрузки выбранного сечения жилы проводника  $I_{доп}$  значительно меньше  $I_{расч}$ , то целесообразно будет определить действительную рабочую температуру проводника  $\theta_n$  с целью уточнения величины  $q_{min}$ :

$$\theta_n = \theta_o + (\theta_{доп} - \theta_o) \frac{I_{раб. max}^2}{I_{доп.}^2},$$

где  $\theta_o$  - расчетная температура окружающей среды;

$\theta_{табл}$  - длительно допускаемая рабочая температура.

Далее действия выполняются по вышеприведенному алгоритму.

#### **Тема 4. Современные конструкции распределительных устройств подстанций. (6 час)**

Конструктивное исполнение РУ напряжением 0,4 кВ. Конструктивное исполнение РУ напряжением 6-10 кВ. Конструктивное исполнение РУ напряжением 35-220 кВ. Комплектные РУ напряжением до 1 кВ. Комплектные РУ напряжением выше 1 кВ

##### **Принципы компоновки и размещения трансформаторных и распределительных подстанций**

Компоновка и конструктивное выполнение трансформаторных и распределительных подстанций производится на основании главной схемы электрических соединений.

Компоновка подстанции должна быть увязана с генеральным планом объекта электроснабжения, необходимо учитывать действующие строительные нормы, стандарты и размеры типовых элементов зданий.

Расположение подстанций напряжением выше 1 кВ должно учитывать и предусматривать удобный подвод автомобильной и, если требуется, железной дорог, удобные подходы и выходы воздушных линий электропередач и кабельных сооружений в требуемых направлениях.

Компоновка электрооборудования, конструктивное выполнение, монтаж токоведущих частей, выбор несущих конструкций, изоляционные и другие минимальные расстояния выбираются таким образом, чтобы обеспечить:

- безопасное обслуживание оборудования в нормальном режиме работы установки;
- удобное наблюдение за указателями положения выключателей и разъединителей, уровнем масла в трансформаторах и аппаратах;

- необходимую степень локализации повреждений при нарушении нормальных условий работы установки, обусловленных действиями дугового короткого замыкания;

- безопасный осмотр, смену и ремонт аппаратов и конструкции любой цепи при снятом с нее напряжении без нарушения нормальной работы соседних цепей, находящихся под напряжением;

- необходимую механическую стойкость опорных конструкций электрооборудования;
- возможность удобного транспортирования оборудования;
- максимальную экономию площади подстанции.

Территория подстанции должна иметь внешнее ограждение, однако ограждение может не предусматриваться для закрытых подстанций.

При проектировании электроустановок, содержащих маслонаполненное оборудование с количеством масла более 60 кг, должны обеспечиваться требования пожарной безопасности в соответствии с нормативными документами.

Каждая трансформаторная подстанция имеет три основных блока: распределительные устройства высшего напряжения, трансформатор, распределительные устройства низшего напряжения.

Распределительные устройства содержат коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства.

По конструктивному исполнению РУ трансформаторных и распределительных подстанций могут быть внутренними - закрытыми (ЗРУ) - с размещением электрооборудования в зданиях и наружными - открытыми (ОРУ) - с установкой электрооборудования на открытом воздухе.

Подстанции могут быть комплектными или сборными.

Комплектные подстанции изготавливаются на заводах и транспортируются к месту установки узлами и блоками без демонтажа оборудования. На месте монтажа производят установку узлов и блоков и присоединения между ними и к сетям электроснабжения.

Комплектное распределительное устройство - распределительное устройство, состоящее из шкафов, закрытых полностью или частично, или блоков с встроенными в них

аппаратами, устройствами защиты и автоматики, измерительными приборами и вспомогательными устройствами, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде и предназначенное для внутренней установки.

Комплектное распределительное устройство наружной установки (КРУН) - это КРУ, предназначенное для наружной (открытой) установки.

Комплектная трансформаторная подстанция (КТП - для внутренней и КТПН - для наружной установки) - подстанция, состоящая из трансформаторов и блоков КРУ или КРУН, поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

На сборных подстанциях отдельные элементы изготавливаются на заводах и в электромонтажных организациях, доставляются к месту монтажа для сборки.

Камера (ячейка) - помещение, предназначенное для установки аппаратов и шин. Закрытая камера закрыта со всех сторон и имеет сплошные (несетчатые) двери. Огражденная камера имеет проемы, защищенные полностью или частично несплошными (сетчатыми или смешанными) ограждениями.

### **Размещение подстанций**

По месту нахождения на территории объекта различают следующие подстанции:

отдельно стоящие на расстоянии от зданий;

пристроенные, непосредственно примыкающие к основному зданию снаружи;

встроенные, находящиеся в отдельных помещениях внутри здания, но с выкаткой трансформаторов наружу;

внутрицеховые, расположенные внутри производственных зданий с размещением электрооборудования непосредственно в производственном или отдельном закрытом помещении с выкаткой электрооборудования в цехи.

В городских сетях напряжением 6...10 кВ применяют закрытые подстанции, оборудованные одним или двумя трансформаторами мощностью 100...630 кВА каждый с первичным напряжением 6...10 кВ и вторичным напряжением 0,4/0,23 кВ с воздушными или кабельными вводами. В небольших поселках и в сельской местности часто подстанции с одним трансформатором мощностью до 400 кВА устанавливают открыто на деревянных или бетонных конструкциях. В городах с небольшой плотностью застройки широко применяют отдельно стоящие подстанции. В городах с большой плотностью застройки применяют двухтрансформаторные подстанции. Строительная часть подстанций выполняется из железобетона и кирпича.

В промышленных сетях напряжением 6...10 кВ в целях наибольшего приближения к электроприемникам рекомендуется применять внутренние, встроенные в здания или пристроенные к ним подстанции. Встроенные и пристроенные подстанции обычно располагаются вдоль одной из длинных сторон цеха, желательно ближайшей к источнику питания, или же при небольшой ширине цеха в шахматном порядке вдоль двух его сторон. Минимальное расстояние между соседними камерами разных внутрицеховых подстанций, а также между КТП допускается 10 м.

Внутрицеховые подстанции могут размещаться только в зданиях с первой и второй степенями огнестойкости и с производствами, отнесенными к категориям Г и Д согласно противопожарным нормам. Число масляных трансформаторов на внутрицеховых подстанциях не должно быть более трех.

Эти ограничения не распространяются на трансформаторы сухие или заполненные негорючей жидкостью.

Отдельно стоящие ТП применяются, например, при питании от одной подстанции нескольких цехов, при невозможности размещения подстанций внутри цехов или у наружных их стен по соображениям производственного или архитектурного характера при наличии в цехах пожароопасных или взрывоопасных производств.

Выбор местоположения, типа, мощности и других параметров главной понижающей подстанции в основном обуславливается величиной и характером электрических нагрузок и



размещением их на генплане и в производственных, архитектурно-строительных и эксплуатационных требованиях. Важно, чтобы ГПП располагалась возможно ближе к центру питаемых его нагрузок. Намеченное место расположения уточняется по условиям планировки предприятия, ориентировочных габаритов и типа (отдельно стоящая, пристроенная, внутренняя, закрытая, комплектная) подстанции и возможности подвода высоковольтных линий от места ввода ЛЭП от энергосистемы к ГПП.

При выборе места расположения подстанции следует учитывать продолжительность работы приемников. Очевидно, что при одинаковой расчетной нагрузке, но различном числе часов работы подразделений завода подстанция должна быть расположена ближе к группе потребителей с большей продолжительностью работы (с большим коэффициентом использования).

Допускается смещение подстанций на некоторое расстояние от геометрического центра питаемых ею нагрузок в сторону ввода от энергосистемы.

Распределительные подстанции напряжением 6...10 кВ также рекомендуется пристраивать или встраивать в производственные здания и совмещать с ближайшими трансформаторными подстанциями во всех случаях, когда это не вызывает значительного смещения ТП от центра их нагрузок. Выбор места РП в первую очередь определяется наличием двигателей напряжением выше 1 кВ или электропечей с трансформаторами. Если на объекте электроснабжения имеются потребители только напряжением до 1 кВ, питаемые от ТП, то место главной распределительной подстанции выбирается на генплане смещенным от центра нагрузки ближе к источнику питания. Если по условиям среды нельзя сделать встроенную или пристроенную РП, например из-за взрывоопасности, то сооружается отдельное здание РП.

### **Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ**

Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ состоят из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, измерительными приборами и вспомогательными устройствами.

Принцип комплектных электротехнических устройств с выдвигаемыми блоками улучшает эксплуатацию электрооборудования. Вместо ревизии и ремонта электрического аппарата на месте установки в стесненных и неудобных условиях стало возможным быстрое отсоединение аппарата от схемы и ремонт его в условиях мастерских. Создание комплектных устройств с выдвигаемыми блоками повысило эксплуатационную надежность: благодаря замене ремонтируемого блока на запасной появилась возможность работать во время ремонта блока на данном присоединении. При наличии штепсельных разъемов такая замена производится в течение короткого времени без снятия напряжения с данного узла при полной безопасности обслуживающего персонала.

К комплектным распределительным устройствам напряжением до 1 кВ относятся распределительные щиты, посты управления, силовые пункты, щиты станций управления и т.п.

Распределительные щиты. Распределительные щиты предназначены для приема и распределения электроэнергии переменного и постоянного тока напряжением до 1 кВ. Устанавливают их на трансформаторных и преобразовательных подстанциях, в машинных залах и на электростанциях. Щиты изготавливают в открытом и закрытом (шкафном) исполнении.

Щиты открытого исполнения состоят из панелей, устанавливаемых в специальных электротехнических помещениях. Щиты закрытого исполнения устанавливают в шкафах в цехах промышленных предприятий.

По условиям обслуживания щиты бывают с двусторонним обслуживанием и односторонним. Щиты с двусторонним обслуживанием часто именуют свободно стоящими, поскольку они требуют для обслуживания устройства проходов с двух сторон - с лицевой и

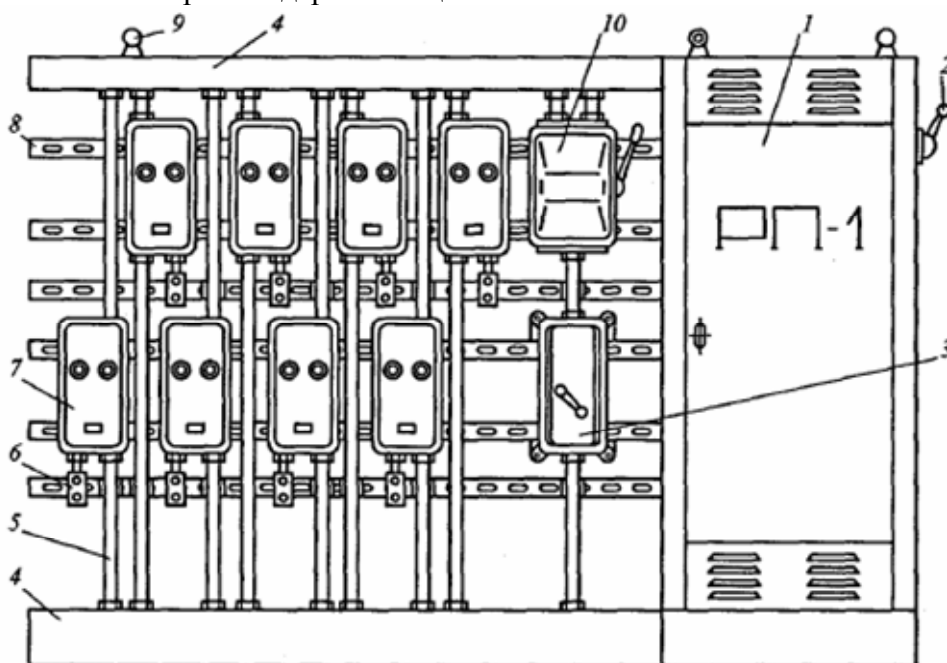
задней, и, таким образом, их устанавливают в отдалении от стен. Щиты с односторонним обслуживанием принято называть прислонными, так как обычно их устанавливают непосредственно у стен помещения, обслуживают с лицевой стороны. Каркасы панелей в современных конструкциях щитов выполняют с применением различных профилей из листовой стали.

В качестве коммутационных и защитных аппаратов на щитах устанавливают рубильники, предохранители, блоки выключатель - предохранитель, выключатели. Для обеспечения автоматической работы по схеме АВР на щитах устанавливают релейную аппаратуру.

Распределительные щиты серии ЩО-70 предназначены для распределения электроэнергии трехфазного тока напряжением 380 В. Щиты рассчитаны на одностороннее обслуживание, защитных ограждений сверху и сзади не имеют. Щиты комплектуются из вводных, линейных, секционных и торцовых моделей. Для смены предохранителей, осмотра и ремонта аппаратуры на каждой панели, кроме секционных, на фасадной стороне предусмотрена одностворчатая дверь, на которой установлены приводы рубильников или кнопки управления выключателей. Для присоединения трех или четырех кабелей к аппаратам на номинальные токи 630 и 1000 А в панелях предусмотрены шинные сборки.

Посты управления предназначены для управления электроприводами группы механизмов, связанных между собой общим технологическим процессом. Посты обычно устанавливают непосредственно в цехе так, чтобы управляемые с них объекты находились в поле зрения оператора. На таких постах устанавливают командную аппаратуру ручного и автоматического управления.

Пункты и шкафы силовые. Пункты силовые распределительные предназначены для распределения электрической энергии и защиты электрических установок постоянного тока напряжением до 220 В или переменного тока напряжением до 660 В при перегрузках и коротких замыканиях. Пункты (рис.) изготавливают в виде шкафов или устройств, собираемых из отдельных стандартных элементов: ящиков с соединительными шинами и ящиков с разными аппаратами. Преимущество этого устройства заключается в возможности получения разных схем из небольшого набора стандартных ящиков.



Силовой пункт в блоке с магнитными пускателями, кнопочными станциями и ящиками:

- 1 - шкаф силовой; 2 - рукоятка вводного рубильника шкафа; 3 - ящик с автоматом; 4 - коробка для проводов; 5 - трубы (или коробка) для проводов силовой сети; 6 - кнопочная станция; 7 - магнитный пускатель; 8 - швеллер перфорированный; 9 - рым; 10 - ящик с рубильниками и предохранителями

Шкафы силовые распределительные ШР-11 применяют для приема и распределения электроэнергии в промышленных установках на номинальный ток до 400 А. В зависимости от типа шкафа на вводе устанавливают рубильник, два рубильника при питании шкафа от двух источников или рубильник с предохранителями. Шкафы имеют 5...8 отходящих групп, укомплектованных предохранителями серии ПН2 или НПН2 на номинальные токи 60, 100, 250 А. Шкафы представляют собой металлический корпус с дверью, внутри которого установлена съемная сборка, представляющая собой раму с вводным рубильником, и предохранители отходящих линий.

Пункты распределительные серии ПР изготавливают в виде шкафов утопленного, навесного и напольного исполнения со встроенными автоматическими выключателями типа АЗ700 на силу тока до 700 А и типа АЕ на силу тока до 100 А.

Шкафы распределительные силовые СПМ-75 применяют в цеховых электроустановках промышленных предприятий для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц при номинальном напряжении 380 В с защитой отходящих линий предохранителями. Шкафы имеют вводной рубильник и предохранители, расположенные один под другим по вертикали, образуя трехфазную группу.

Шкафы распределительные СПА-77 применяют в тех же случаях, что и СПМ-75. Шкафы имеют вводной рубильник и автоматические выключатели на отходящих линиях. Силовые распределительные устройства серии СУ-9500 со встроенными в них устройствами автоматики применяют в силовых установках с трех- и четырехпроводными системами распределения трехфазного тока частотой 50 Гц напряжением 380 В, а также в двухпроводной системе постоянного тока напряжением 220 В. Максимальная нагрузка на главные шины - 4000 А, на нулевую шину - 2000 А.

Вводные распределительные устройства серии ВРУ предназначены для приема, распределения и учета электроэнергии и защиты отходящих линий в сетях трехфазного тока напряжением 380/220 В в сетях с глухозаземленной нейтралью. ВРУ применяют в общественных зданиях и жилых домах повышенной этажности. В серию ВРУ входят вводные и распределительные панели. Распределительные панели имеют аппаратуру для автоматического управления наружным освещением лестничных клеток. Максимальное число и сечение жил проводов и кабелей, присоединяемых к вводному зажиму: на 400 А - 4 x 150 мм<sup>2</sup>; на 250 А - 4 x 95 мм<sup>2</sup>; на 200 А - 2 x 95 мм<sup>2</sup>. ВРУ выполнены в защищенном исполнении. Габаритные размеры 1700 x 800 x 450 мм. Устройство шкафов серии ВРУ представляет собой сборку из панелей шкафного типа одностороннего обслуживания. Их корпуса не имеют боковых стенок, торцы крайних панелей сборки закрываются съемными металлическими листами. На съемной раме внутри корпуса установлены защитно-коммутационные аппараты. Аппараты, размещенные на одной панели, но питающиеся от разных вводов, разделены перегородками. Счетчики и трансформаторы тока установлены в отдельном отсеке. Ввод проводов и кабелей делают снизу, а вывод - как снизу, так и сверху через верхнюю съемную крышку.

Корпуса панелей заземляют присоединением нулевых жил питающих кабелей к нулевой шине, общей для всех панелей.

**Щиты станций управления.** Современные системы электропривода производственных машин и механизмов имеют сложные системы управления с большим числом контакторных аппаратов регулирующих элементов.

Требования режимов пуска, разгона, регулирования частот вращения, торможения и установки электропривода, многообразие форм защиты и контроля за работой двигателя и установок) определили довольно широкую номенклатуру станций управления; электроприводами.

Щиты станций управления устанавливают на крупных трансформаторных подстанциях в машинных залах промышленных предприятий. Щиты выполняют одно- и двухрядными. ЩСУ комплектуют из блоков и панелей управления.

## **Комплектные распределительные устройства напряжением выше 1 кВ**

Отечественные электроаппаратные заводы изготавливают КРУ для напряжений 6...10 и 35 кВ с одной системой сборных шин для внутренней и наружной установки. Они получили широкое распространение в электроустановках различного назначения.

Применение КРУ дает значительное упрощение строительной части электроустановок. Практика эксплуатации КРУ показала более надежную их работу по сравнению с обычными сборными распределительными устройствами.

Комплектные распределительные устройства напряжением до 35 кВ имеют воздушную изоляцию; КРУ напряжением 110 кВ и выше выполняют с изоляцией элегазом.

Комплектные распределительные устройства на напряжение 6...10 кВ имеют два принципиально различных конструктивных исполнения в зависимости от способа установки аппаратов: выкатные (типа КРУ, КРУН), в которых аппарат напряжением выше 1 кВ с приводом располагается на выкатной тележке, и стационарные (типа КСО, КРУН), в которых аппарат, привод и все приборы устанавливаются стационарно.

Основными достоинствами выкатных КРУ являются:

возможность быстрой замены выключателя резервным выключателем, установленным на тележке;

компактность устройств, так как вместо разъединителей применяются специальные скользящие контакты штепсельного типа;

надежное закрытие токоведущих частей для защиты от прикосновения и чрезмерного запыления.

Конструкция стационарных комплектных распределительных устройств обеспечивает достаточную и безопасную обзораемость и доступность оборудования без снятия напряжения со сборных шин. Стационарные камеры КСО более просты и дешевы по сравнению с выкатными камерами КРУ. По условию обслуживания комплектные распределительные устройства могут быть:

одностороннего обслуживания (прислонного типа) - устанавливаются прислоненно к стене с обслуживанием с фасадной стороны;

двустороннего обслуживания (свободностоящие) - устанавливаются свободно с проходами с фасадной и задней стороны.

Стационарные камеры КСО следует устанавливать, как правило, с односторонним обслуживанием, а КРУН и выкатные КРУ - с двусторонним обслуживанием.

Выкатные комплектные распределительные устройства. На рис. показана линейная камера серии К-ХП для внутренней установки с выключателем ВМП-10 и разъединителями штепсельного типа с втычными контактами. Она состоит из следующих частей: неподвижного корпуса, в задней части которого размещены верхние и нижние неподвижные контакты 1 разъединителей, кабельная сборка 2 с концевыми заделками 3, трансформаторы тока 4 и заземляющие ножи 5; выкатной тележки с выключателем 6 и приводом; отсека сборных шин; отсека приборов для измерений, релейной защиты, управления и сигнализации.

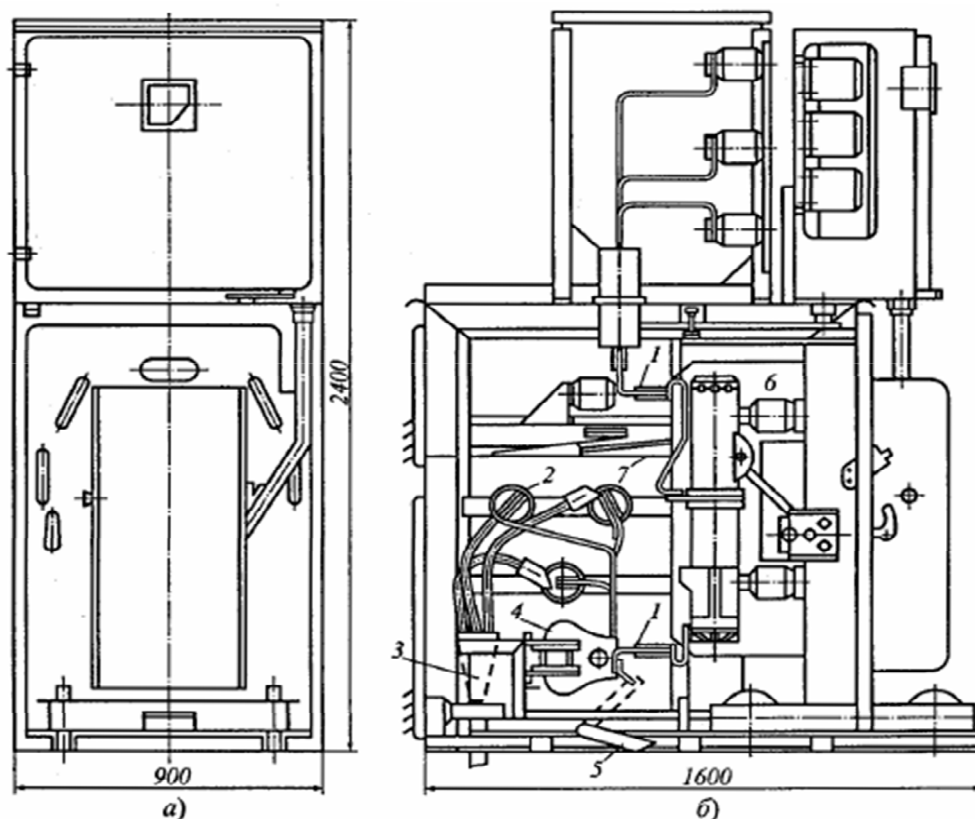
Корпус камеры разделен горизонтальной стальной перегородкой 7 на два отсека; верхний - с контактами шинных разъединителей и нижний - с трансформаторами тока и кабельной сборкой. Предусмотрены также вертикальные подвижные металлические шторы, закрывающие при выкатывании тележки заднюю часть камеры с аппаратами, находящимися под напряжением, во избежание случайного прикосновения к ним.

Тележка с выключателем может занимать три положения:

рабочее, когда тележка находится в камере, а втычные разъединители и контакты вторичных цепей сигнализации и напряжения разомкнуты;

испытательное, когда тележка выдвинута настолько, что втычные разъединители разомкнуты, а контакты цепей управления еще замкнуты;

ремонтное, когда тележка находится вне камеры.



Ячейка КРУ с выдвижным выключателем:  
*а* – вид спереди; *б* – поперечный разрез

Для опробования привода выключателя достаточно поставить тележку в испытательное положение. Для ремонта выключателя тележка должна быть полностью выдвинута из камеры. Необходимо также отсоединить цепи управления сигнализации от релейного отсека, с которым они соединены гибким шлангом и многоконтактным штепсельным соединением. Предусмотрена блокировка, не допускающая выкатывания тележки при включенном выключателе, а также вкатывание при включенном заземляющем разъединителе. Последний не может быть включен в рабочем положении тележки.

**Стационарные комплектные распределительные устройства.** Основными стационарными типами комплектных распределительных устройств являются камеры типа КСО, они имеют открытое исполнение и предназначены для одностороннего обслуживания. Камеры разделяются на три отсека. В верхнем отсеке камеры открыто размещены сборные шины и шинный разъединитель, в среднем отсеке - выключатель или выключатель нагрузки, или предохранители и разъединители, в нижнем - линейный разъединитель, кабельная воронка и ТТ типа ТЗ. На фасаде камеры имеются верхняя и нижняя двери.

**Выкатные и стационарные комплектные распределительные устройства наружного исполнения.** Шкафы ввода отходящих линий, трансформаторов напряжения и разрядников выкатных КРУН состоят из двух основных частей: корпуса и тележки. Корпус шкафа представляет собой каркасную металлоконструкцию, выполненную из специальных штампованных профилей листовой стали. Он разделен металлическими перегородками на пять отсеков: сборных шин, тележки, приборов защиты и измерения, трансформаторов тока с кабельным или воздушным вводом и верхних неподвижных разъединяющих контактов. Отсек сборных шин отделен от остальных отсеков шкафа металлическими перегородками и проходными изоляторами, что обеспечивает более высокую степень надежности и локализацию возникших аварий в пределах одного электрического присоединения. Они комплектуются выключателями типа ВМП-10К или ВМП-10П на силу тока 600, 1000 и 1500 А. Стационарные КРУН предназначены для ввода и секционирования в распределительных устройствах при нагрузках, превышающих силу тока 1500 А. Они комплектуются выключателями на ток 3200 А.

## **Внутренние распределительные устройства**

При напряжении 6... 10 кВ габаритные размеры электрических аппаратов таковы, что объем здания и его стоимость невелики. В этих условиях целесообразны внутренние распределительные устройства, в которых аппараты защищены от непогоды и пыли, а обслуживание удобно. По мере повышения напряжения объем здания и стоимость строительной части быстро увеличиваются. При напряжении 110...220 кВ внутренние РУ сооружают только в естественных условиях, при наличии в воздухе пыли вредных химических загрязнений, в суровых климатических условиях.

Для РУ обычно сооружают особые здания, размеры которых выбирают в соответствии с электрической схемой и габаритами оборудования. При определенных условиях РУ могут быть размещены в отсеках производственных помещений.

Здания РУ сооружают сборными из готовых типовых железобетонных элементов, размеры которых стандартизованы. Поэтому длина здания должна быть кратной 6 м, ширина - 3 м, высота - 6 м.

Естественное освещение внутренних РУ нежелательно, так как устройство окон осложняет конструкцию здания, окна требуют периодической очистки, через них может проникать пыль и т.п. Здания РУ не отапливаются, но нуждаются в вентиляции, поскольку аппараты и проводники выделяют значительное количество теплоты. Обычно применяют естественную вентиляцию, но в камерах с токоограничивающими реакторами и силовыми трансформаторами прибегают к установке вентиляторов.

Руководствуясь требованиями удобства и безопасности обслуживания, аппараты присоединений размещают в огражденных камерах, расположенных вдоль коридоров обслуживания. *Ограждений камерой* называют камеру, ограниченную со всех сторон стенами и перекрытиями, кроме стороны, обращенной в коридор обслуживания. С этой стороны предусматривают лишь сетчатое ограждение не ниже 1,9 м с дверями для доступа в камеру при снятом напряжении. При таком размещении оборудования обеспечиваются хорошая обзоримость аппаратов, удобный и безопасный ремонт, а также локализация повреждений, т.е. ограничение зоны их распространения.

*Закрытой камерой* называют камеру, ограниченную со всех сторон стенами и перекрытиями, с доступом из коридора обслуживания или снаружи через сплошные двери. Размеры камеры определяются габаритными размерами электрических аппаратов, условиями доступа к ним при ремонте, а также минимально допустимыми изоляционными расстояниями для каждого класса номинальных напряжений.

В зависимости от числа присоединений камеры размещают в один, два и большее число рядов с коридорами для обслуживания между ними. В РУ напряжением 6...10 кВ с одной системой сборных шин и малогабаритными аппаратами в одну камеру могут быть помещены все аппараты одного присоединения. В устройствах с двумя системами сборных шин и аппаратами большого габарита для размещения аппаратов одного присоединения необходимы две или три камеры, расположенные в одном или двух этажах.

Распределительные устройства напряжением 6...10 кВ мощных станций с выключателями больших размеров и реакторами выполняют обычно сборными. В присоединениях с меньшими токами и, следовательно, меньшими аппаратами, применяются комплектные камеры заводского изготовления - КРУ.

Ширина коридора обслуживания должна обеспечивать безопасное, удобное обслуживание установки и перемещение оборудования. Расстояние в свету между ограждениями должно составлять не менее 1 м. Число выходов из помещения РУ должно выполняться в соответствии со следующими требованиями: при длине РУ до 7 м допускается один выход, при длине 7...60 м - два выхода по концам.

Наименьшие изоляционные расстояния в воздухе для внутренних РУ напряжением от 6 до 220 кВ, обеспечивающие условия безопасности и удобного обслуживания, установлены ПУЭ (табл.).

**Наименьшие изоляционные расстояния в воздухе для внутренних РУ  
напряжением 6...220 кВ**

Наименование расстояний	Обозначение	Наименьшие расстояния, мм, при напряжении				
		6 кВ	10 кВ	35 кВ	110 кВ	220 кВ
От токоведущих частей до заземленных конструкций и стен зданий	$A_{\phi-з}$	90	120	290	700	1700
Между проводниками разных фаз	$A_{\phi-\phi}$	100	130	320	800	1800

Основными из них являются минимальные расстояния от токоведущих частей до заземленных конструкций  $A_{\phi-з}$ , а также минимальные расстояния между токоведущими частями разноименных фаз  $A_{\phi-\phi}$ .

В ПУЭ также нормируются наименьшие расстояния от токоведущих частей до сплошных и сетчатых ограждений, между нагруженными токоведущими частями разных фаз, от неогражденных токоведущих частей до отметки пола и др.

**Открытые распределительные устройства напряжением до 220 кВ**

Наиболее рациональной компоновкой открытого распределительного устройства на подстанциях является компоновка с расположением оборудования в одной плоскости, когда электрооборудование располагается на нулевой отметке.

Любое ОРУ состоит из подходящих и отходящих присоединений, подключаемых к общим шинам.

При компоновке подстанций необходимо учитывать направление подходящих к ОРУ воздушных и кабельных линий, расположение подъездных дорог к подстанции и возможности доставки по ним оборудования с большой массой, климатические условия, рельеф и геологию местности, состояние окружающей среды (степень ее загрязнения).

Конструкция опор под ошиновку и оборудование служит для крепления и установки на них гибкой и жесткой ошиновок и оборудования.

Портальные конструкции для подвески ошиновки могут быть металлическими или из сборного железобетона. Опоры под оборудование выполняются из унифицированных железобетонных стоек и свай с металлическими конструкциями сверху для крепления аппаратов. При однорядном расположении выключателей ОРУ напряжением 35...220 кВ по блочным и мостиковым схемам ее основные показатели по габаритам приведены в табл.

В ПУЭ нормируются наименьшие допустимые расстояния от масляных трансформаторов до стены производственных зданий в зависимости от степени огнестойкости. При расстоянии более 10 м специальных требований к огнестойкости зданий не предъявляется.

**Комплектные трансформаторные подстанции**

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

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

По роду установки КТП могут быть:

внутренней установки с масляными, сухими или заполненными негорючей жидкостью трансформаторами;

наружной установки (только с масляными трансформаторами);

смешанной установки с расположением РУ высшего напряжения и трансформатора снаружи, а РУ низшего напряжения внутри помещения.

КТП можно разделить на четыре основные группы.

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

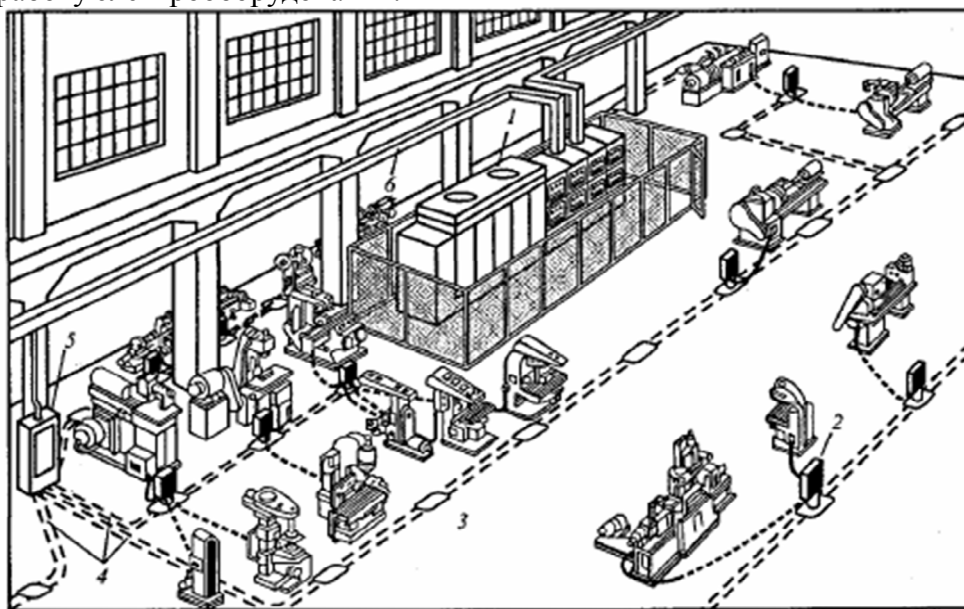
2. КТП внутренней и наружной установки напряжением до 10 кВ включительно мощностью 160...2500 кВА, которые в основном используются для электроснабжения промышленных предприятий. КТП этой группы состоят из шкафов ввода на напряжение 10 кВ и РУ напряжением до 1 кВ. Для КТП применяют как масляные, так и заполненные негорючей жидкостью или сухие трансформаторы специального исполнения с боковыми выводами, для КТП наружной установки - только масляные.

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

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

### Конструктивное исполнение комплектных трансформаторных подстанций

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6...10 кВ. В целях наибольшего приближения к потребителям рекомендуется применять внутренние, встроенные в здание или пристроенные к нему, трансформаторные подстанции. Встроенные в здание или пристроенные трансформаторные подстанции имеют выход из камер с масляными трансформаторами и высоковольтными аппаратами непосредственно наружу. Внутрицеховые подстанции могут размещаться на первом и втором этажах производств, которые согласно противопожарным требованиям отнесены к категориям Г и Д первой и второй степеням огнестойкости. Внутрицеховые подстанции размещаются как открыто, так и в отдельных помещениях. Размещение внутрицеховых подстанций в помещениях пыльных и с химически активной средой допускается при условии принятия мер, обеспечивающих надежную работу электрооборудования.



Модульная разводка силовой электросети к электроприемникам механического цеха:

1 – комплектная трансформаторная подстанция; 2 – колонка с автоматическим выключателем; 3 – ответвительная коробка; 4 – модульная магистраль; 5 – силовой шкаф; 6 – магистральный шинопровод

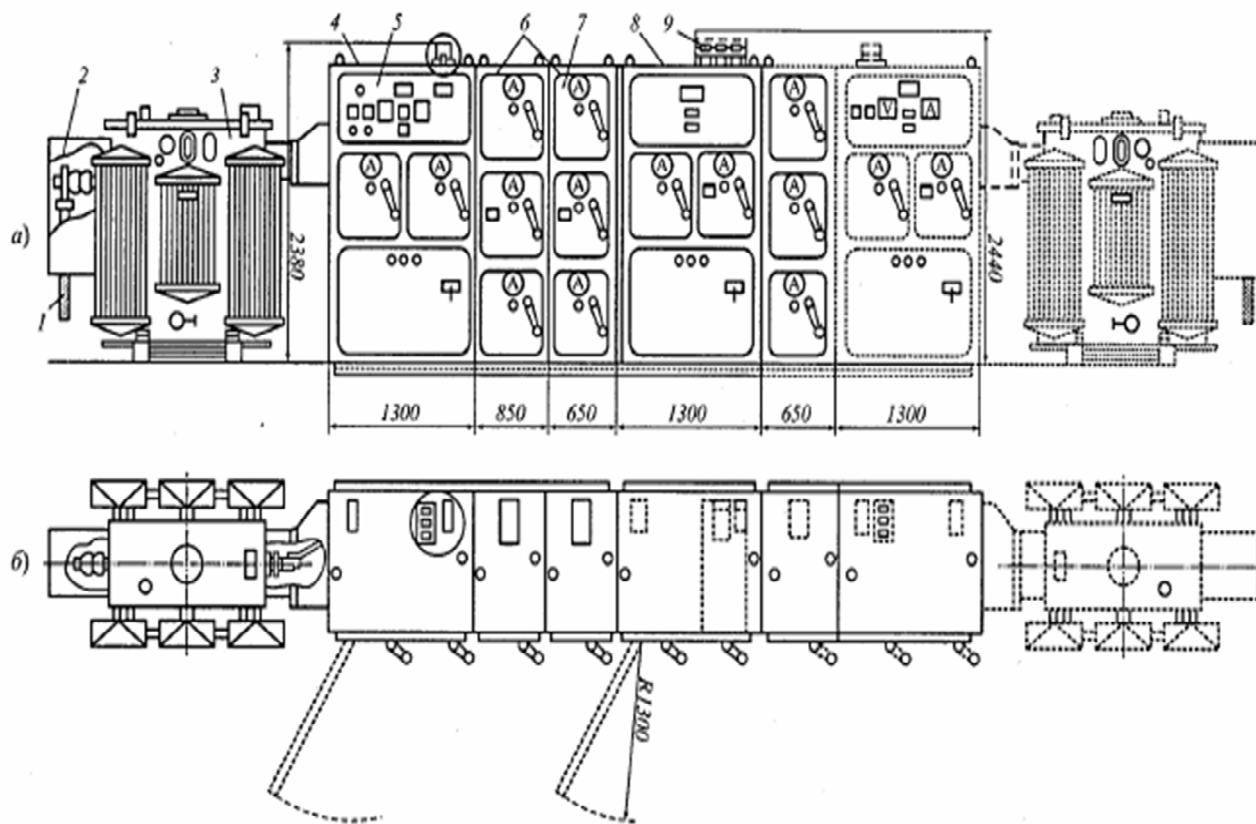


В производственных помещениях трансформаторы и РУ могут устанавливаться как открыто, так и в камерах и отдельных помещениях. На каждой открыто установленной цеховой подстанции и КТП могут быть применены масляные трансформаторы мощностью до 1600 кВА. Расстояние в свету между масляными трансформаторами должно быть не менее 10 м. Для внутрицеховых подстанций и КТП с сухими трансформаторами или с негорючим диэлектриком их мощность и расстояние между ними не ограничиваются,

КРУ и КТП следует, как правило, размещать в пределах «мертвой зоны» подъемнотранспортных механизмов. В цехах с интенсивным движением внутризаводского транспорта КРУ и КТП следует ограждать. Ширина прохода для управления и ремонта КРУ выкатного типа и КТП должна обеспечивать удобство обслуживания и ремонта (0,6...0,8 м).

Ввод от трансформатора на щит может быть выполнен двумя способами: кабелями снизу на вводных панелях, предназначенных для кабельных вводов; шинами сверху с помощью вводных панелей или же непосредственно к сборным шинам через разъединитель, установленный на стене.

На рис. представлена комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630...1000 кВА для внутренней установки с однорядным расположением оборудования. Автоматические выключатели выдвижного исполнения служат защитно-коммутационной аппаратурой, каждый автомат закрыт дверью, управление производится рукоятками и ключами, расположенными на дверях шкафов, а для дистанционного управления концы проводов подведены к рейке с зажимами. Присоединение вводов высшего напряжения глухое.

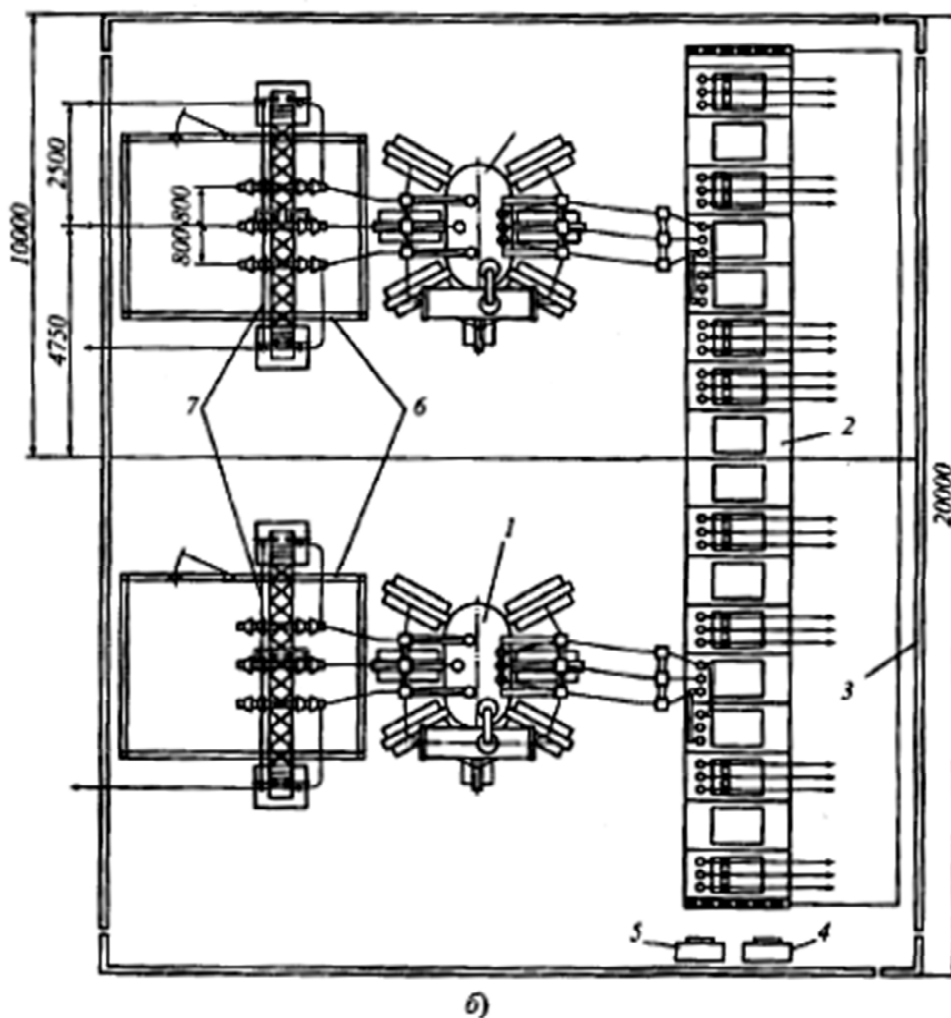
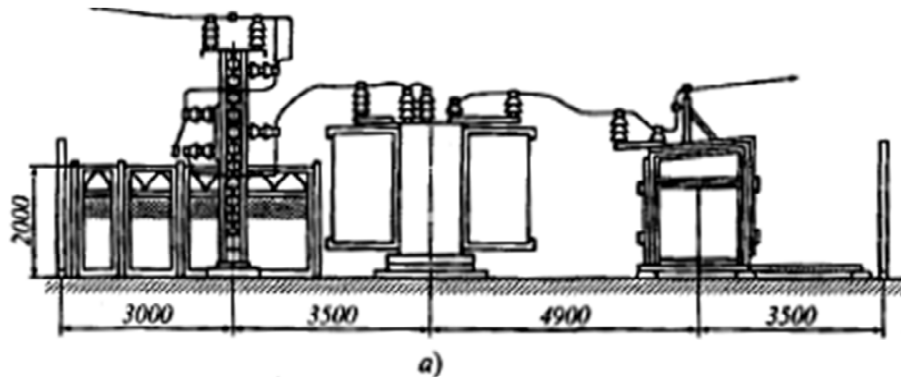


Комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630 ... 1000 кВ·А для внутренней установки с однорядным расположением оборудования:

а – вид спереди; б – план; 1 – кабель ВН; 2 – шкаф ввода ВН; 3 – силовой трансформатор; 4 – шкаф ввода НН; 5 – отсек приборов; 6 – шкаф отходящих линий НН; 7 – секционный шкаф НН или шкаф отходящих линий; 8 – шинный короб; 9 – окно для вывода кабеля вверх

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 35/6...10 кВ. КТП напряжением 35/6...10 кВ применяют для электроснабжения небольших промышленных предприятий и сельскохозяйственных районов. КТП (рис.) состоит из ОРУ напряжением 35

кВ, силового трансформатора и КРУН напряжением 6...10 кВ наружной установки, металлического ограждения подстанции, совмещенного с контуром заземления.



**Рис. 7.6. Комплектная трансформаторная подстанция напряжением 35 кВ типа 2КТП-35/6-10П кВ с трансформаторами мощностью 3200 кВ·А:**  
*а* – вид спереди; *б* – план; 1 – трансформатор; 2 – КРУН напряжением 6...10 кВ; 3 – внешнее ограждение; 4 – шкаф противопожарного оборудования; 5 – шкаф инвентарный; 6 – внутреннее ограждение предохранителей; 7 – ОРУ напряжением 35 кВ

Конструкция комплектной подстанции допускает возможность установки одного или двух силовых трансформаторов мощностью 630...3200 кВА.

ОРУ однитрансформаторной подстанции напряжением 35 кВ представляет собой портал, на котором смонтированы со стороны подстанции линейный разъединитель с двумя заземляющими ножами, а со стороны линии - стреляющие предохранители высокого напряжения, разрядники и резонансные заградители высокочастотной связи.

На стороне 35 кВ применяются следующие основные схемы: тупиковые, проходные, узловые, «мостик».

Ячейка ввода ОРУ имеет дополнительное внутреннее ограждение высотой 2 м, определяемой зоной выхлопа стреляющих предохранителей ПСН-35 и допустимыми расстояниями от аппаратуры, установленной в нижней части портала.

Двухтрансформаторная подстанция представляет собой сочетание двух комплектных однотрансформаторных подстанций, комплектуемых секционным шкафом напряжением 6...10 кВ. Ввод со стороны 35 кВ выполнен как для однотрансформаторной подстанции, но включает в себя два портала с линейными предохранителями, разъединителями и разрядниками.

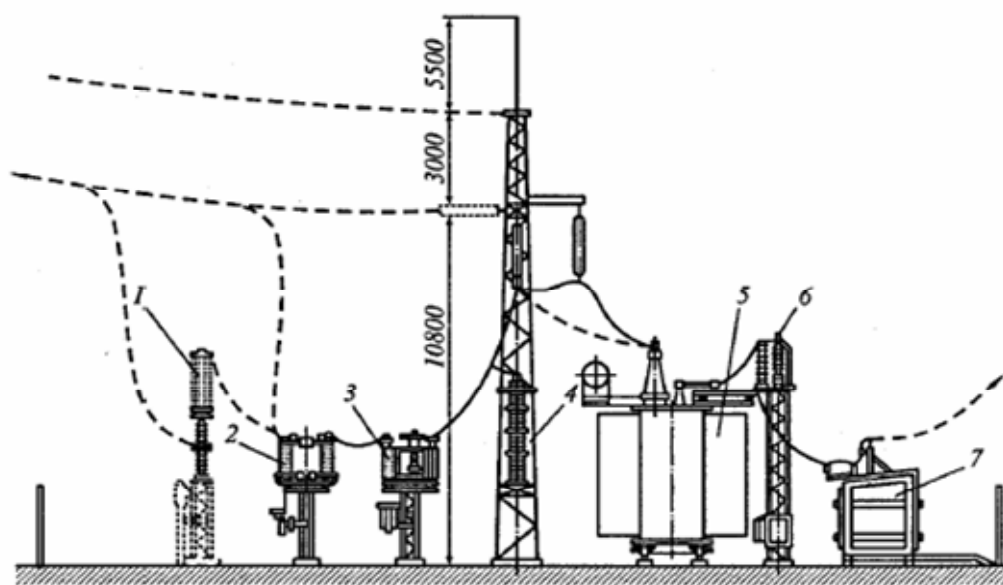
Комплектные трансформаторные полстанции напряжением 110/6...10 кВ. КТП напряжением 110/6...10 кВ (рис.) состоят из ОРУ напряжением 110 кВ, силового трансформатора 5 и КРУН 7 наружной установки напряжением 6...10 кВ.

ОРУ напряжением 110 кВ однотрансформаторной подстанции состоит из линейного разъединителя, отделителя, короткозамыкателя, заземляющего разъединителя, линейного портала, металлоконструкции под установку высокочастотной связи. Узел линейного разъединителя 2 представляет собой металлоконструкцию порталного типа, на которой установлены полюсы разъединителя типа РЛНД-2-110/600. Полюсы соединяют между собой тягами. С приводом ПРН разъединитель соединен валами, привод ПРН устанавливается под центральным полюсом разъединителя на траверсе и снабжается внутренней блокировкой, не допускающей включения заземляющих ножей при включенных главных ножах разъединителя.

Узел отделителя и короткозамыкателя 3 - трехстоечная металлоконструкция, на которой установлены три полюса отделителя ОД-110 и короткозамыкатель КЗ-110. Отделитель управляется приводом ШПО, который устанавливается на одной из стоек. Короткозамыкатель изолируется от металлоконструкций четырьмя изоляторами.

Заземление короткозамыкателя производится шиной, которая проходит через трансформатор тока ТШЛ-0,5 проходного типа.

Узел заземляющего разъединителя 6 - одностоечная металлоконструкция, на которой установлен заземляющий разъединитель ЗОН. В зависимости от высоты силового трансформатора заводом поставляется установка заземляющего разъединителя высотой 3 и 5 м. На металлоконструкции заземляющего разъединителя устанавливается ящик с зажимами цепей управления.



Комплектная трансформаторная подстанция наружной установки напряжением 110/6... 10 кВ с ОРУ напряжением 110 кВ

Линейный портал 4 - одностоечная порталная конструкция с двумя траверсами. Портал служит для приема линии, к стойкам портала подсоединяются грозозащитные тросы, на одной из стоек портала устанавливается молниеотвод. Расстояние между проводами 2500 мм, а между грозозащитными тросами - 8000 мм. Верхняя траверса служит для подвески гирлянд изоляторов. На нижней траверсе устанавливаются разрядники РВС-110 с регистраторами разрядов. Узел высокочастотной связи 1 рассчитан на совместную установку заградителя и конденсатора связи. КРУН напряжением 6...10 кВ 7 - металлическая конструкция, состоящая из соединенных между собой шкафов, в которых смонтированы аппаратура силовых и вспомогательных цепей. У силового трансформатора вблизи выводов напряжением 6...10 кВ устанавливаются вентильные разрядники РВП напряжением 6...10 кВ.

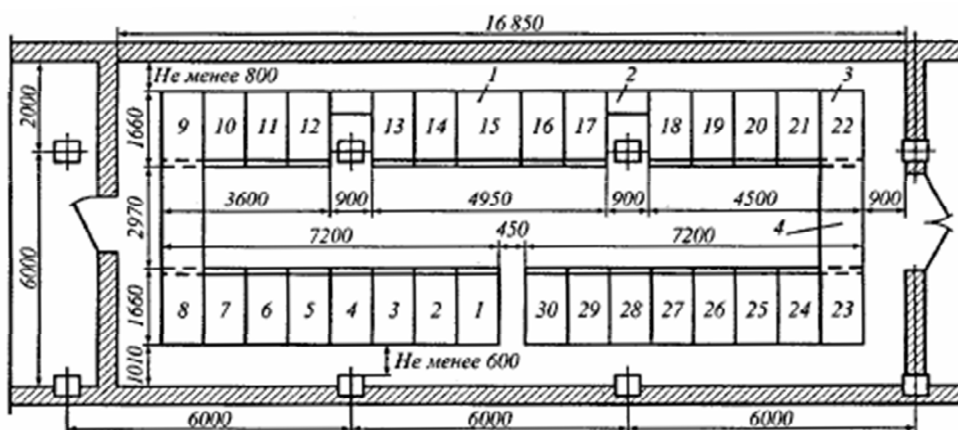
Источником питания оперативных испытаний и устройств релейной защиты и автоматики является трансформатор собственных нужд.

### Конструктивное исполнение РП напряжением 6-10 кВ

На рис. а приведена компоновка распределительной подстанции, пристроенной к зданию цеха с двумя выходами наружу. Часть РП, находящаяся в ведении энергоснабжающей организации, отделена перегородкой с дверью, запираемой на замок. На рис. б приведена компоновка распределительной подстанции при размещении в отдельном помещении между колоннами в цеху. На рис. в показана компоновка распределительной подстанции с выкатными КРУ с подводом питания через специальную шахту и с установкой в специальных ячейках токоограничивающих реакторов.

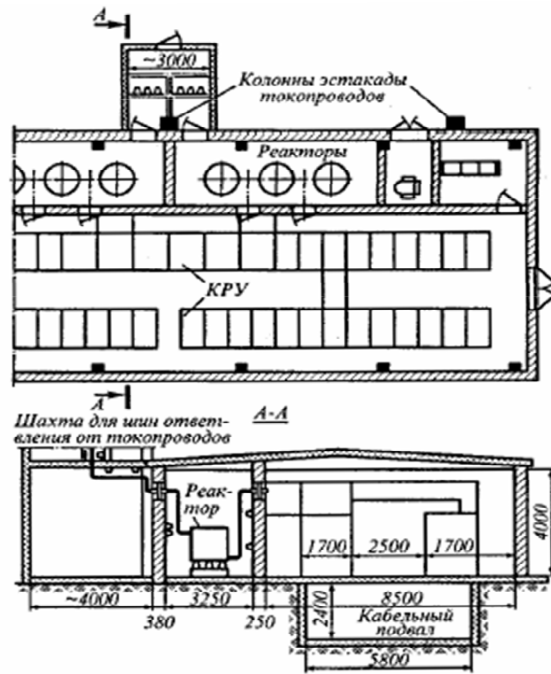


а) Расположение оборудования распределительной подстанции напряжением 10 кВ при двухрядном расположении камер КСО при разделении распределительной подстанции на части абонента и энергосистемы:  
1 - блоки питания; 2 - щитки защиты; 3 - шкаф оперативного тока типа ШУОТ; 4 - мост шинный длиной 3000 мм; 5 - ограждение сегчатое с дверью; 6 - камера типа КСО-272

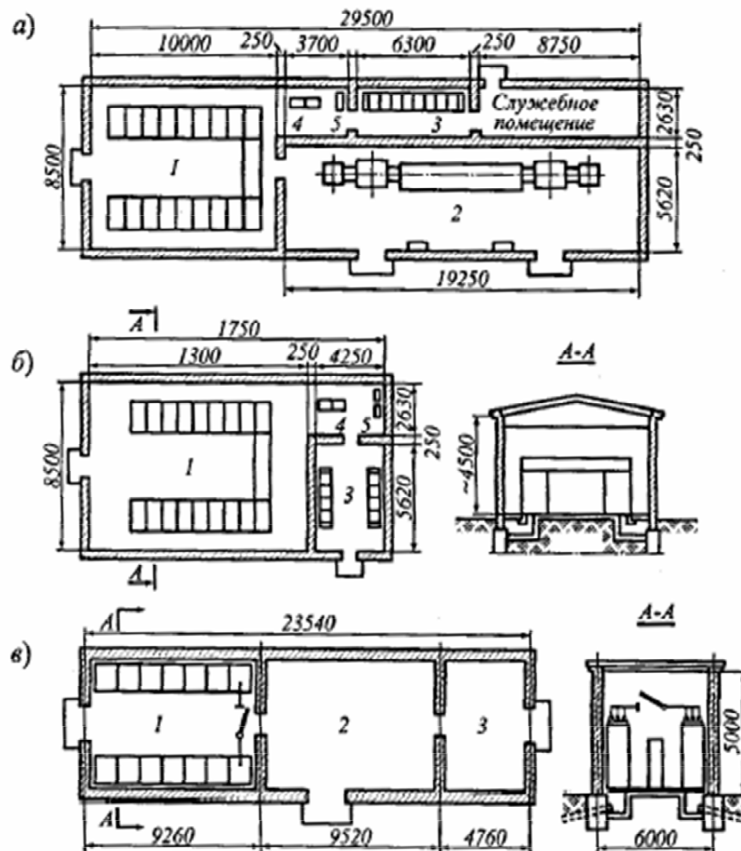


б) Вариант компоновки распределительной подстанции напряжением 10 кВ в отдельном помещении между колоннами в цеху:  
1 - шкаф КРУ размером 1350 мм; 2 - токопровод между шкафами; 3 - шкаф КРУ размером 900 мм; 4 - токопровод между секциями КРУ

6) Компоновка распределительной подстанции с выкатными КРУ и реакторами с подводом питания через специальную шахту от гибких токопроводов



На рис. показано несколько примеров выполнения распределительных подстанций, некоторые из которых совмещены с трансформаторными подстанциями. Компоновки РП предусматривают также возможность размещения в них конденсаторных установок (УК).



Выполнение распределительных подстанций напряжением 6...10 кВ:  
 а – отдельно стоящая РП с камерами КРУ, совмещенная с КТП и комплектной конденсаторной установкой (ККУ); б – отдельно стоящая РП с камерами КРУ, совмещенная с ККУ; в – отдельно стоящая РП с камерами КСО, совмещенная с КТП и ККУ; 1 – камеры КРУ или КСО; 2 – КТП; 3 – ККУ; 4 – электропитание приводов; 5 – вводное устройство силового питания

### Примеры выполнения подстанций напряжением 6...10/0,4 ...0,66 кВ

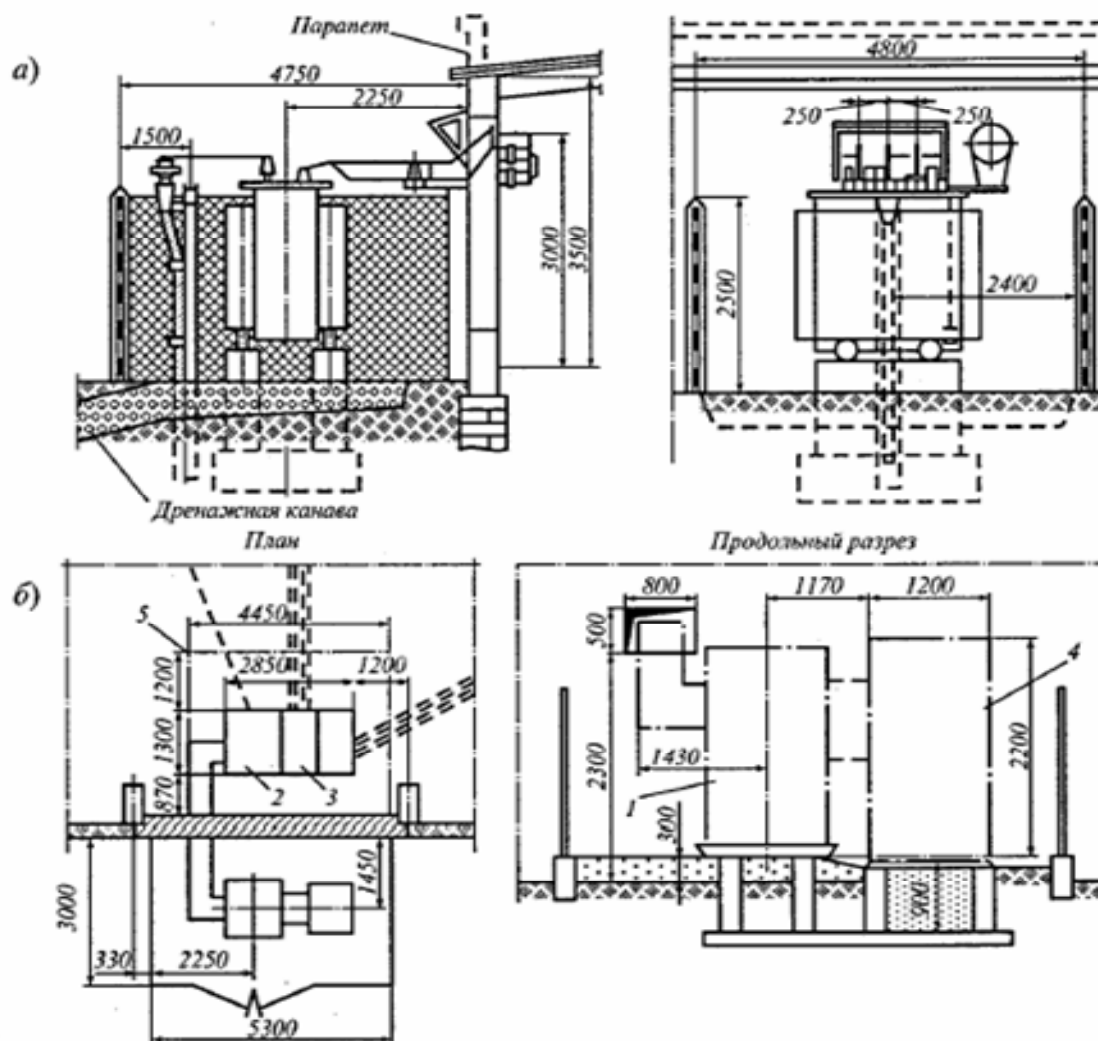
Типы выполнения подстанций напряжением 6...10/0,4...0,66 кВ достаточно многообразны, поэтому рассмотрим лишь некоторые из них.

Широко применяются компоновки подстанций с установкой трансформаторов открыто возле производственных зданий предприятия и с размещением распределительных устройств вторичного напряжения внутри этих зданий. При этом необходимо соблюдать ряд условий, так как пожар в трансформаторе может вывести из работы производственный корпус. Кроме того, должен предусматриваться проезд шириной не менее 3 м вдоль всех трансформаторов или пожарный подъезд к каждому из них.

На рис. а показана цеховая подстанция с открытой установкой трансформатора мощностью 1000 кВА возле цеха и с размещением распределительного щита напряжением до 1 кВ непосредственно в цехе.

На рис. б показана установка однострансформаторной КТП и вводного шкафа напряжением выше 1 кВ снаружи, непосредственно возле стены здания, а комплектного устройства напряжением до 1 кВ внутри цеха.

Шины, соединяющие выводы напряжением до 1 кВ с комплектным распределительным устройством, заключены в короба из листовой стали.



#### Открытая установка трансформаторов возле цеха:

а – цеховая подстанция с открыто установленным трансформатором мощностью 1000 кВ·А; б – цеховая однострансформаторная КТП с наружной установкой трансформатора мощностью 630 кВ·А; 1 – трансформатор; 2 – шкаф ввода напряжением до 1 кВ; 3 – шкаф отходящих линий; 4 – шкаф ввода напряжением выше 1 кВ с выключателем нагрузки; 5 – зона обслуживания

## Тема 5. Режимы питающих электроэнергетических систем и управление качеством электроэнергии. (6 час.)

Режимы работы электрооборудования и обеспечение нормативного качества напряжения. Баланс активной и реактивной мощности в питающих электроэнергетических системах. Выбор мощности и размещение компенсирующих устройств. Основы регулирования частоты. Методы и средства регулирования напряжения.

При анализе работы сети следует различать параметры элементов сети и параметры ее рабочего режима. Параметрами элементов сети являются: сопротивления и проводимости, коэффициенты трансформации. К параметрам сети иногда можно отнести также э.д.с. и задающие токи и мощности нагрузок. К параметрам рабочего режима относятся: значения частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значения, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжений и токов и несинусоидальность изменения напряжений и токов в течение периода основной частоты.

Под рабочим режимом сети понимается ее электрическое состояние. Практически оно непрерывно изменяется в связи с отключением и включением электроприемников, изменением режима их работы и т.п. Обычно при расчетах сетей рассматриваются некоторые идеализированные характерные режимы ее работы. При этом имеются в виду установившиеся режимы работы, т.е. длительные, с почти постоянными параметрами, медленно изменяющимися. Характер их изменения во времени часто является случайным.

Параметры режима практически не могут быть допущены произвольными. Каждый элемент имеет номинальные данные, которые определяют допустимые параметры рабочего нормального режима. Кроме нормальных режимов приходится рассматривать вынужденные послеаварийные режимы, которые имеют место при изменении схемы сети в связи с отключением оборудования. В послеаварийных режимах параметры могут находиться в несколько больших по сравнению с нормальными режимами, но все же в приемлемых пределах.

Кроме нормальных, существуют быстропротекающие, аварийные и неаварийные режимы.

Продолжительный режим работы электротехнического устройства — это режим, продолжающийся не менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры его частей при неизменной температуре охлаждающей среды.

Продолжительный режим работы электротехнического устройства имеет место, когда энергосистема или электроустановка находится в одном из следующих режимов: нормальном, ремонтном, послеаварийном.

Нормальный режим — это такой режим работы электротехнического устройства, при котором значения его параметров не выходят за пределы, допустимые при заданных условиях эксплуатации.

В нормальном режиме функционируют все элементы данной электроустановки, без вынужденных отключений и без перегрузок. Ток нагрузки в этом режиме может меняться в зависимости от графика нагрузки. Для выбора аппаратов и токоведущих частей следует принимать наибольший ток нормального режима  $I_{норм}$ .

Ремонтный режим — это режим плановых профилактических и капитальных ремонтов. В ремонтном режиме часть элементов электроустановки отключена, поэтому на оставшиеся в работе элементы ложится повышенная нагрузка. При выборе аппаратов и токоведущих частей необходимо учитывать это повышение нагрузки до  $I_{рем, макс}$ .

Послеаварийный режим это режим, в котором часть элементов электроустановки вышла из строя или выведена в ремонт вследствие аварийного (непланового) отключения. При этом режиме возможна перегрузка оставшихся в работе элементов электроустановки током  $I_{П АВ, макс}$ .

Из двух последних режимов выбирают наиболее тяжелый, когда в рассматриваемом элементе электроустановки проходит наибольший ток  $I_{\max}$ .

Таким образом, расчетными токами продолжительного режима являются: — наибольший ток нормального режима  $I_{\text{норм}}$ ;  $I_{\max}$  — наибольший ток ремонтного или послеаварийного режима.

Рассмотрим некоторые конкретные случаи определения расчетных токов.

Цепь генератора. Наибольший ток нормального режима принимается при загрузке генератора до номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$  при номинальном напряжении и  $\cos \varphi_{\text{ном}}$

$$I_{\text{норм}} = I_{\text{ном.г}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}}.$$

Наибольший ток послеаварийного или ремонтного режима определяется при условии работы генератора при снижении напряжения на 5%

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} 0,95 \cos \varphi_{\text{ном}}}.$$

В конкретных условиях  $I_{\max}$  может быть определен при работе генератора с повышенной токовой нагрузкой за счет улучшения системы охлаждения (повышение давления водорода и др.).

Цепь двухобмоточного трансформатора связи на электростанции. Со стороны ВН и НН принимают

$$I_{\text{норм}} = I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}},$$

где  $S_{\text{ном}}$  — номинальная мощность трансформатора.

Наибольший ток ремонтного или послеаварийного режима принимается при условии отключения параллельно работающего трансформатора, когда оставшийся в работе трансформатор может быть перегружен по правилам аварийных длительных или систематических перегрузок. Согласно ГОСТ 14209—85 для трансформаторов допускается длительная аварийная перегрузка на 40 % и систематическая перегрузка в зависимости от условий охлаждения, типа трансформатора и графика нагрузки. Если неизвестны действительные значения допустимых перегрузок, то можно принять

$$I_{\max} = k_{\text{пт}} I_{\text{ном.т}} = (1,3 - 1,4) I_{\text{ном.т}},$$

где  $k_{\text{пт}}$  — коэффициент перегрузочной способности оборудования.

Цепь трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора на электростанции. Трехобмоточные трансформаторы широко применяются на ТЭЦ в качестве трансформаторов связи. В этом случае они работают как повышающие, передавая избыток мощности генераторов в сеть ВН и СН. Загрузка цепей ВН, СН и НН зависит от конкретных условий: графика нагрузки на НН, СН и схемы соединений электроустановки на НН. При блочном соединении генератора с трансформатором на стороне НН  $I_{\text{норм}}$ ,  $I_{\text{ном}}$  определяются так же, как в цепи генератора.

При поперечных связях между генераторами расчетные условия на стороне НН и ВН определяются по мощности трансформатора с учетом его перегрузки, т. е.

$$I_{\text{норм}} = I_{\text{ном.т}}; I_{\max} = (1,3 - 1,4) I_{\text{ном.т}}.$$

На стороне СН, если отсутствует связь с энергосистемой и установлено два трансформатора,

$$I_{\text{норм}} = \frac{S'_{\text{нг}}}{2\sqrt{3} U_{\text{ном}}},$$

где  $S'_{\text{нг}}$  — наибольшая перспективная нагрузка на СН;

$$I_{\max} = 2I_{\text{норм}}.$$



Если к шинам СН присоединена система и возможны перетоки между ВН и СН, то

$$I_{\text{норм}} = I_{\text{ном.т}}; I_{\text{max}} = (1,3 - 1,4)I_{\text{ном.т}}$$

Цепь двухобмоточного трансформатора на подстанции. На стороне ВН и НН расчетные нагрузки определяют, как правило, с учетом установки в перспективе трансформаторов следующей по шкале ГОСТ номинальной мощности  $S'_{\text{номТ}}$ :

$$I_{\text{норм}} = (0,65 - 0,7) \frac{S'_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{max}} = (1,3 - 1,4) \frac{S'_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}.$$

Цепь трехобмоточного трансформатора на подстанции. На стороне ВН расчетные токи определяют по формулам

$$I_{\text{норм}} = (0,65 - 0,7) \frac{S'_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{max}} = (1,3 - 1,4) \frac{S'_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}.$$

На стороне СН расчетные токи при двух установленных трансформаторах:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S'_{\text{нг}}}{2\sqrt{3}U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{max}} = 2I_{\text{норм}},$$

где  $S'_{\text{нг}}$  — перспективная нагрузка на СН на 10-летний период.

Цепь автотрансформатора на подстанции. На стороне ВН и СН расчетные токи определяют по

$$I_{\text{норм}} = (0,65 - 0,7) \frac{S'_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{max}} = (1,3 - 1,4) \frac{S'_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}.$$

так как автотрансформатор может быть использован для связи двух систем и перетоков мощности как из ВН в СН, так и в обратном направлении. На стороне НН расчетные токи определяют по перспективной нагрузке по формулам

$$I_{\text{норм}} = \frac{S'_{\text{нг}}}{2\sqrt{3}U_{\text{ном}}};$$

$$I_{\text{max}} = 2I_{\text{норм}},$$

Цепь линии. Если линия одиночная, радиальная, то  $I_{\text{норм}} = I_{\text{max}}$  определяется по наибольшей нагрузке линии.

для двух параллельно работающих линий

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{нг}}}{2\sqrt{3}U_{\text{ном}}}; I_{\text{max}} = 2I_{\text{норм}},$$

где  $S_{\text{нг}}$  — наибольшая мощность потребителей, присоединенных к линиям.

для  $n$  параллельных линий

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{нг}}}{n\sqrt{3}U_{\text{ном}}}; I_{\text{max}} = \frac{n}{n-1} I_{\text{норм}}.$$

Цепи секционных, шиносоединительных выключателей, сборные шины. Ток нормального режима определяется с учетом токораспределения по шинам при наиболее неблагоприятном эксплуатационном режиме. Такими режимами являются: отключение части генераторов, перевод отходящих линий на одну систему шин, а источников питания — на

другую. Обычно ток, проходящий по сборным шинам, секционному и шиносоединительному выключателям, не превышает  $I_{\max}$  самого мощного генератора или трансформатора, присоединенного к этим шинам.

Цепь группового сдвоенного реактора. В нормальном режиме ветви реактора загружены равномерно. Наибольший ток нормального режима определяется по нагрузке присоединенных к ветви потребителей:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{нг}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}.$$

В послеаварийном или ремонтном режиме при отключении одной из потребительских линий, присоединенных к ветви реактора, нагрузка другой ветви может соответственно возрасти, поэтому

$$I_{\text{max}} = \frac{n}{n-1} I_{\text{норм}},$$

где  $n$  — число линий, присоединенных к одной ветви реактора. При правильно выбранном реакторе  $I_{\text{max}}$  не превышает номинального тока его ветви.

В процессе работы сетей могут возникнуть нарушения симметрии напряжений и токов, а также синусоидальности их изменения во времени.

Расчеты режимов выполняются как при проектировании, так и при эксплуатации сетей. Целью расчетов рабочего режима сети обычно является проверка технических условий, т.е. соответствия токов в отдельных элементах и напряжений в узлах сети допустимым значениям. Экономичность работы сети характеризуют значения потерь активной и реактивной мощности, а также значения потерь электроэнергии за год.

В зависимости от предъявляемых требований и поставленной задачи расчеты рабочих режимов производятся более или менее детально, с различной степенью точности и учетом влияния различных факторов. Например, при разработке плана развития электрификации страны одновременно с выбором мощности и местоположения электростанций производятся расчеты режимов основных сетей напряжением 220 кВ и выше. Эти расчеты нередко носят оценочный характер, так как нагрузки потребителей обычно известны лишь ориентировочно. Поэтому к точности результатов расчетов рабочих режимов сетей при этом предъявляются меньшие требования. Ряд элементов, например распределительные сети в этих расчетах учитываются определенными укрупненными показателями.

При проектировании электрических систем и сетей различных напряжений на основании предварительных расчетов рабочих режимов выбираются параметры линий, оборудования электростанций, характеристики устройств защиты и автоматики. Эти расчеты производятся более детально и с большей степенью точности.

В условиях эксплуатации нагрузки потребителей известны более точно, поэтому параметры режимов сетей также производятся с большей точностью, чем при проектировании. Расчеты по оптимизации режимов выполняются с учетом относительно мало влияющих факторов, которые при проектных расчетах могут не учитываться. В электрических системах расчеты по оптимизации режимов производятся с помощью ЭВМ.

Режим работы электрической системы характеризуется значениями показателей ее состояния, называемых *параметрами режимов*. Все процессы в электрических системах можно охарактеризовать тремя параметрами: напряжением, током и активной мощностью. Но для удобства расчетов режимов применяются и другие параметры, в частности, реактивная и полная мощность. Произведение показаний вольтметра и амперметра в цепи переменного тока называется *полной мощностью*. Для трехфазной цепи она выражается формулой:

$$S = \sqrt{3} IU,$$

где  $I$  — ток в одной фазе;  $U$  — линейное напряжение.

Активная мощность трехфазного переменного тока определяется по формуле

$$P = \sqrt{3}IU \cos \varphi.$$

Множитель  $\cos \varphi$  называется *коэффициентом мощности*. Угол  $\varphi$  указывает сдвиг по фазе тока и напряжения.

На основании этих выражений полная мощность  $S$  представляется гипотенузой прямоугольного треугольника, один катет которого представляет активную мощность  $P = S \cos \varphi$ , а другой - реактивную  $Q = S \sin \varphi$ .

Реактивная мощность находится также из выражения

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент реактивной мощности.

Следует помнить об условности толкования  $Q$  как мощности. Только активная мощность и энергия могут совершать работу и преобразовываться в механическую, тепловую, световую и химическую энергию. Активная мощность обусловлена преобразованием энергии первичного двигателя, полученной от природного источника, в электроэнергию. Реактивная мощность не преобразуется в другие виды мощности, не совершает работу и поэтому называется мощностью условно. Реактивная мощность идет на создание магнитного и электрических полей. Для анализа режимов в цепях синусоидального тока реактивная мощность является очень удобной характеристикой, широко используемой на практике.

#### **Баланс активных мощностей**

Особенностью производства и потребления электроэнергии является равенство выработанной и израсходованной в единицу времени электроэнергии (мощности). Следовательно, в электрической системе должно выполняться равенство (баланс) для активных мощностей

$$P_{\Gamma} = P_{\text{потр}} + \Delta P_{\text{пер}} + P_{\text{с.н}}$$

где  $P_{\Sigma}$  - суммарная активная мощность, отдаваемая в сеть генераторами электростанций, входящих в систему;  $P_{\text{потр}}$  - суммарная совмещенная активная нагрузка потребителей системы;  $\Delta P_{\text{пер}}$  - суммарные потери активной мощности во всех элементах передачи электроэнергии (линиях, трансформаторах) по электрическим сетям;  $P_{\text{с.н}}$  - суммарная активная нагрузка собственных нужд всех электростанций системы при наибольшей нагрузке потребителя.

Основная доля выработанной мощности идет на покрытие нагрузки потребителей. Суммарные потери на передачу зависят от протяженности линий электрических сетей, их сечений и числа трансформаций и находятся в пределах 5...15% от суммарной нагрузки. Нагрузка собственных нужд электростанций зависит от их типа, рода топлива и типа оборудования; она составляет для тепловых электростанций 5... 12%, для гидроэлектростанций - 0,5... 1% от мощности электростанции.

Равенство позволяет определить рабочую активную мощность системы. Располагаемая мощность генераторов  $P_{\Gamma, \text{расп}}$  системы несколько больше, чем рабочая мощность в режиме максимальных нагрузок  $P_{\text{г. макс}}$ ; требуется учитывать необходимость резервирования при аварийных и плановых (ремонтных) отключениях части основного оборудования электроэнергетической системы:

$$P_{\Gamma, \text{расп}} = P_{\text{г. макс}} + P_{\Gamma, \text{рез}}$$

где  $P_{\Gamma, \text{рез}}$  - мощность резерва системы, который должен быть не меньше 10% ее рабочей мощности.

При нарушении баланса активных мощностей, например, если

$$P_{\Gamma, \text{расп}} < P_{\text{потр}} + \Delta P_{\text{пер}} + P_{\text{с.н}}$$

происходит снижение частоты в системе.

### Баланс реактивных мощностей

В электрической системе суммарная генерируемая реактивная мощность должна быть равна потребляемой реактивной мощности. В отличие от активной мощности, источниками которой являются только генераторы электростанций, реактивная мощность генерируется как ими, так и другими источниками, к которым относятся воздушные и кабельные линии разных напряжений  $Q_{ли}$  а также установленные в сетях источники реактивной мощности (ИРМ) (компенсирующие устройства - КУ) мощностью  $Q_{ку}$ .

Поэтому баланс реактивной мощности в электрической системе представляется уравнением

$$Q_{г} + Q_{ли} + Q_{ку} = Q_{потр} + \Delta Q_{пер} + Q_{с.н.}$$

Следует отметить, что уравнение баланса реактивных мощностей связано с уравнением баланса активных мощностей, так как

$$Q_{г} = P_{г} \operatorname{tg} \varphi_{г};$$

$$Q_{потр} = P_{потр} \operatorname{tg} \varphi_{потр}.$$

Генерация реактивной мощности на электростанциях зависит от числа и активной мощности работающих агрегатов, а потребление реактивной мощности - от состава электроприемников. При номинальном коэффициенте мощности генераторов  $\cos \varphi_{г} = 0,85$  коэффициент реактивной мощности  $\operatorname{tg} \varphi_{г} = 0,6$ . Для потребителей коэффициент реактивной мощности  $\operatorname{tg} \varphi_{отр} = 0...3$ .

Потери реактивной мощности на передачу в основном определяются потерями реактивной мощности в трансформаторах, при трех-четырёх трансформациях суммарные потери мощности в трансформаторах могут достигать 40% от передаваемой полной мощности.

В линиях напряжением 110 кВ и выше генерация реактивной мощности (зарядная мощность) компенсирует реактивные потери в линиях и может превысить их.

Таким образом, при выборе активной мощности генераторов энергосистемы по условию баланса активных мощностей и при работе генераторов с номинальным коэффициентом мощности генерируемая суммарная реактивная мощность без дополнительно используемых ИРМ может оказаться меньше требуемой по условию баланса реактивных мощностей:

$$Q_{г} + Q_{ли} < Q_{потр} + \Delta Q_{пер} + Q_{с.н.}$$

В этом случае образуется дефицит реактивной мощности, который приводит к следующему:

большая нагрузка реактивной мощностью генераторов электростанций приводит к перегрузке по току генераторов;

передача больших потоков реактивной мощности от генераторов по элементам сети приводит к повышенным токовым нагрузкам и, как следствие, к увеличению затрат на сооружение сети, повышенным потерям активной мощности;

недостаток реактивной мощности в системе влечет за собой снижение напряжения в узлах электрических сетей и у потребителей.

Для получения баланса реактивных мощностей вблизи основных потребителей реактивной мощности устанавливают дополнительные источники с выдаваемой реактивной мощностью  $Q_{ку}$ .

При избытке реактивной мощности в системе, т.е. при

$$Q_{г} + Q_{ли} + Q_{ку} > Q_{потр} + \Delta Q_{пер} + Q_{с.н.}$$

в элементах электрической сети возникают перетоки реактивной мощности, встречные направлению потоков активной мощности, что приводит к повышению напряжений в узлах и увеличению потерь мощности. Данный режим характерен для периода минимальных нагрузок в системе.

Отсюда возникает задача оптимизации режима реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия, выбора типа и мощности, а также места установки компенсирующих устройств.

В системах электроснабжения городов с коммунально-бытовой нагрузкой компенсирующие устройства обычно не устанавливаются.

### **Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий**

При выборе средств компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий необходимо различать две группы промышленных сетей в зависимости от состава их нагрузок;

сети общего назначения с режимом прямой последовательности основной частоты 50 Гц;

сети со специфическими нелинейными, несимметричными и резкопеременными нагрузками.

В данном разделе рассматриваются вопросы компенсации реактивной мощности в промышленных сетях общего назначения.

На начальной стадии проектирования определяются наибольшие суммарные расчетные нагрузки предприятия при естественном (т.е. до установки КУ) коэффициенте реактивной мощности  $P_{\text{расчПП}}$ ,  $Q_{\text{расчПП}}$

Наибольшая суммарная нагрузка предприятия, принимаемая для определения мощности компенсирующих устройств.

$$Q_{\text{maxПП}} = L_{\text{max}} Q_{\text{расчПП}},$$

где  $L_{\text{max}}$  - коэффициент, учитывающий несовпадение по времени наибольшей активной нагрузки системы и реактивной мощности промышленного предприятия. Значения для разных отраслей промышленности  $L_{\text{max}} = 0,75.-0,95$ .

Значения наибольших реактивной и активной нагрузок предприятия сообщаются в энергосистему для определения значения экономически оптимальной реактивной мощности, которая может быть передана предприятию в режимах наибольшей и наименьшей активных нагрузок энергосистемы, соответственно  $Q_{31}$  и  $Q_{32}$ .

По реактивной мощности  $Q_{31}$  определяется суммарная мощность компенсирующих устройств предприятия, а в соответствии с заданным значением  $Q_{32}$  - регулируемая часть компенсирующих устройств.

Суммарная мощность компенсирующих устройств

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{maxПП}} - Q_{31}.$$

В период минимальных активных нагрузок системы входная реактивная мощность предприятия должна быть равна  $Q_{32}$ , для чего требуется отключение части установленной на предприятии мощности КУ.

В качестве средств компенсации реактивной мощности используются статические конденсаторы напряжением до и выше 1 кВ и синхронные двигатели.

### **Основные потребители реактивной мощности на промышленных предприятиях**

Рассмотрим основные виды электроприемников различного технологического назначения, электропотребителей разных отраслей промышленности, характер их нагрузок и особенности режимов работы.

Электродвигатели применяются в приводах различных производственных механизмов на всех промышленных предприятиях. Электропривод представляет собой комплекс электрических машин, аппаратов и систем управления, в котором электродвигатели конструктивно связаны с исполнительным механизмом и преобразуют электрическую энергию в механическую работу. В установках, не требующих регулирования скорости в

процессе работы, применяются исключительно электроприводы переменного тока (асинхронные и синхронные двигатели).

Нерегулируемые электродвигатели переменного тока - основной вид электроприемников в промышленности, на долю которого приходится около 2/3 суммарной мощности. Доля электропотребления асинхронными двигателями напряжением 0,38 кВ составляет 52% в машиностроении. Характер потребления реактивной мощности асинхронными двигателями описан в следующем разделе.

Электротермия, электросварка, электролиз и прочие потребители составляют около 1/3 суммарной промышленной нагрузки.

Электротермические приемники в соответствии с методами нагрева делятся на следующие группы: дуговые электропечи для плавки черных и цветных металлов, установки индукционного нагрева для плавки и термообработки металлов и сплавов, электрические печи сопротивления, электросварочные установки, термические коммунально-бытовые приборы.

Наибольшее распространение в цеховых электрических сетях напряжением 0,38 кВ имеют печи сопротивления и установки индукционного нагрева. Печи сопротивления прямого и косвенного действия имеют мощность до 2000 кВт и подключаются к сети напряжением 0,38 кВ, коэффициент мощности близок к 1,0.

Индукционные плавильные печи промышленной и повышенной частоты представляют собой трехфазную электрическую нагрузку «спокойного» режима работы. Печи повышенной частоты питаются от вентильных преобразователей частоты, к которым подводится переменный ток напряжением 0,4 кВ. Индукционные печи имеют низкий коэффициент мощности: от 0,1 до 0,5.

Электросварочные установки переменного тока дуговой и контактной сварки представляют собой однофазную неравномерную: несинусоидальную нагрузку с низким коэффициентом мощности: 0,3 для дуговой сварки и 0,7 - для контактной.

Электрохимические и электролизные установки работают на постоянном токе, который получают от преобразовательных подстанций, выпрямляющих трехфазный переменный ток. Коэффициент мощности установок 0,8 ... 0,9.

Установки электрического освещения с лампами накаливания, люминесцентными, дуговыми, ртутными, натриевыми, ксеноновыми лампами применяются на всех предприятиях для внутреннего и наружного освещения. В производственных цехах в настоящее время применяются преимущественно дуговые ртутные лампы высокого давления типов ДРЛ и ДРИ 220 В. Аварийное освещение, составляющее 10% общего, выполняется лампами накаливания. Коэффициент мощности светильников с индивидуальными конденсаторами 0,9...0,95, а без них - 0,6. Лишь лампы накаливания имеют коэффициент мощности 1,0.

### **Потребление реактивной мощности асинхронными двигателями**

В настоящее время наиболее распространенное выражение реактивной нагрузки асинхронного двигателя имеет вид:

$$q = (q_{\text{ном}} - q_0)(K_3)^2 + q_0,$$

где  $q_{\text{ном}}$  - номинальная реактивная мощность АД, которая может быть определена по паспортным данным двигателя.

$$q_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}.$$

После некоторых преобразований получим выражение полной реактивной нагрузки

$$q = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} \left[ \frac{I_{x,x}}{I_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} + (K_3)^2 \left( \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} - \frac{I_{x,x}}{I_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} \right) \right],$$

где  $P_{НОМ}$  - номинальная полезная активная мощность на валу, указываемая на заводском щитке;  $I_{НОМ}$  - номинальное фазное значение тока статора;  $I_{ХХ}$  - ток холостого хода электродвигателя;  $\eta_{НОМ}$  - коэффициент полезного действия;  $K_3 = P/P_{НОМ}$  - коэффициент загрузки АД по активной мощности;  $\text{tg}\varphi_{НОМ}$  - коэффициент реактивной мощности, соответствующий номинальному коэффициенту мощности  $\cos\varphi_{НОМ}$ , указанному на щитке.

Для удобства расчетов преобразуем формулу в следующую:

$$q = \alpha_1(K_3)^2 + \beta_1,$$

$$\text{где } \alpha_1 = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} \text{tg}\varphi_{НОМ} - 3U_{НОМ}I_{ХХ} = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} \left( \text{tg}\varphi_{НОМ} - \frac{I_{ХХ}}{\cos\varphi_{НОМ}} \right);$$

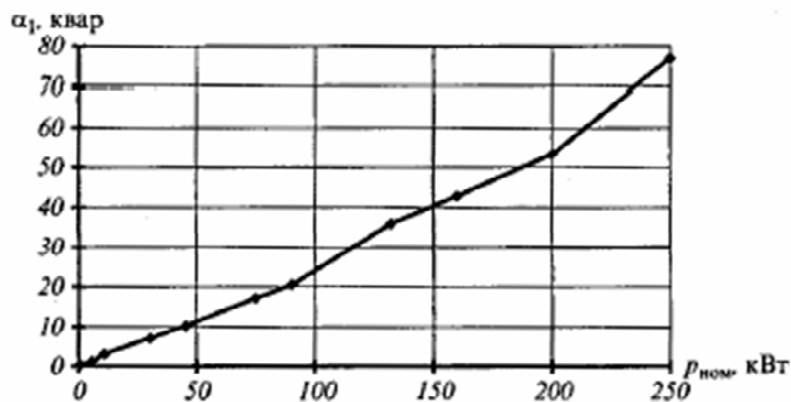
$$\beta_1 = q_0 = 3U_{НОМ}I_{ХХ}.$$

Здесь  $U_{НОМ}$  - номинальное напряжение двигателя,  $I_{ХХ}$  - относительный ток холостого хода АД.

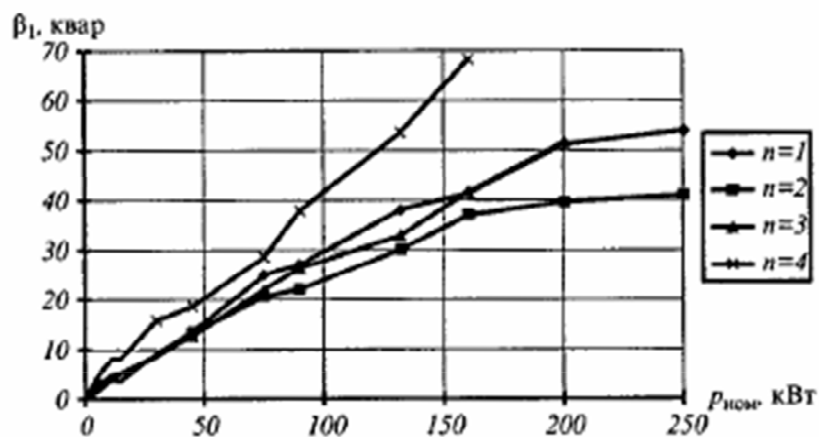
На рис. приведены зависимости коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  от активной номинальной мощности  $P_{НОМ}$  при числе пар полюсов  $i = 1, 2, 3, 4$  для короткозамкнутых АД серии 4А.

Коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi_{АД}$  зависит от  $K_3$  АД и определяется следующим выражением:

$$\text{tg}\varphi = \alpha K_3 + \frac{\beta}{K_3},$$

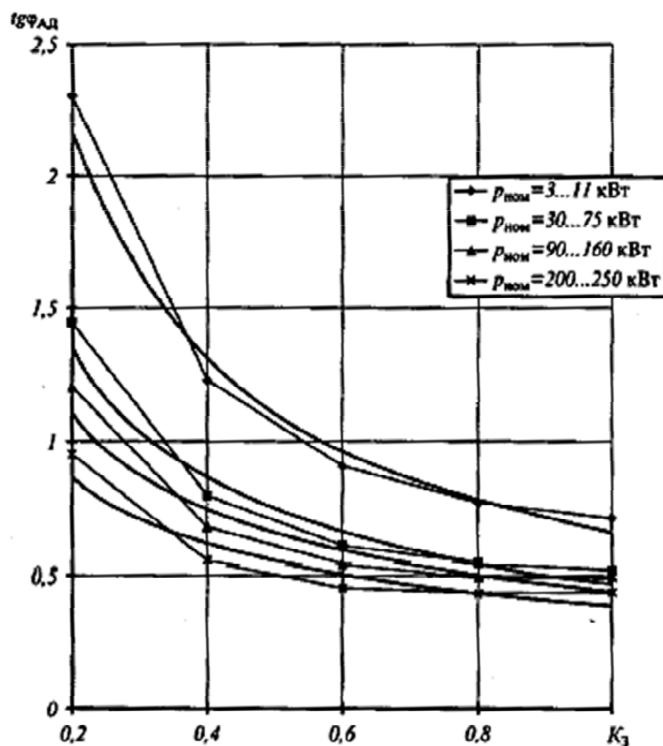


Графики зависимостей коэффициента  $\alpha_1$  от активной номинальной мощности АД



Графики зависимостей коэффициента  $\beta_1$  от активной номинальной мощности и числа пар полюсов  $n$  АД

На рис. представлены графики зависимостей  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{АД}} = f(K_3)$  для АД различных групп мощностей.



Графики зависимостей коэффициента реактивной мощности от коэффициента загрузки для АД различных групп мощностей

#### Источники реактивной мощности (компенсирующие устройства)

На промышленных предприятиях применяют следующие компенсирующие устройства:

для компенсации реактивной мощности - синхронные двигатели и параллельно включаемые батареи силовых конденсаторов;

для компенсации реактивных параметров передачи - батареи силовых конденсаторов последовательного включения.

#### Синхронные двигатели как источник реактивной мощности

Основное назначение синхронных двигателей - выполнение механической работы, следовательно, он является потребителем активной мощности. При перевозбуждении СД его э.д.с. больше напряжения сети, в результате вектор тока статора опережает вектор напряжения, т.е. имеет емкостной характер, а СД выдают реактивную мощность. При недо возбуждении СД является потребителем реактивной мощности. При некотором режиме возбуждения СД его коэффициент мощности равен единице. Изменение тока возбуждения позволяет плавно регулировать генерируемую СД реактивную мощность. Затраты на генерацию двигателями реактивной мощности определяются в основном стоимостью связанных с этим потерь активной мощности в самом двигателе. Потери активной мощности в СД зависят от генерируемой ими реактивной мощности, причем чем меньше номинальная мощность СД и его частота вращения, тем больше эти потери. Для быстроходных СД удельный расход активной мощности составляет около 10 Вт/квар; для СД с частотой вращения 300.-500 об/мин - около 20...30 Вт/квар; для СД с частотой вращения 50... 100 об/мин - около 60...85 Вт/квар. Следовательно, маломощные двигатели с малой частотой вращения неэкономичны в качестве ИРМ. В качестве ИРМ обычно используют СД на номинальное напряжение 6 или 10 кВ, недогруженные по активной мощности.

Значения реактивной мощности, которую можно получить от СД, зависят от его загрузки активной мощностью и относительного напряжения на зажимах двигателя.



## Силовые конденсаторы

Силовые конденсаторы - специальные однофазные или трехфазные емкости, предназначенные для выработки реактивной мощности.

Мощность конденсаторов в одном элементе составляет 5... 100 квар, номинальное напряжение - от 220 В до 10 кВ.

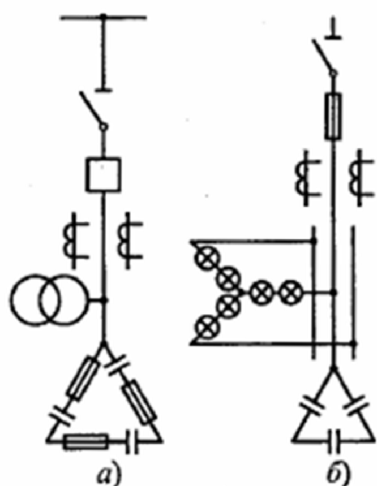
Реактивная мощность, вырабатываемая конденсатором,

$$Q_k = U^2 \omega C_k,$$

где  $U$  - напряжение на зажимах конденсатора;  $\omega$  - угловая частота переменного тока;  $C_k$  - емкость конденсатора, которая определяется, в основном, площадью обкладок.

В установках с большей мощностью и на большее напряжение применяют батареи конденсаторов с параллельным и последовательно-параллельным включением элементов. Увеличение номинального напряжения конденсаторной батареи достигается

последовательным включением элементов, а для увеличения мощности применяют параллельное соединение элементов. Обычно конденсаторы включаются в сеть по схеме треугольника (рис.). При отключении конденсаторов необходимо, чтобы запасенная в них энергия разряжалась автоматически на постоянно включенное активное сопротивление (например, трансформатор напряжения).



Схемы присоединения конденсаторных батарей:

*а* - через выключатель на напряжении 6... 10 кВ; *б* - через рубильник и предохранитель на напряжении до 1 кВ

Конденсаторы по сравнению с СД обладают следующими преимуществами: простотой эксплуатации вследствие отсутствия вращающихся частей; простотой монтажных работ вследствие малой массы; малыми потерями активной мощности на выработку реактивной (2,5...5 Вт/квар).

К недостаткам конденсаторов относят зависимость генерируемой реактивной мощности от напряжения, недостаточную стойкость токам КЗ и перенапряжениям, чувствительность к искажениям формы кривой подводимого напряжения, невозможность плавного изменения мощности конденсаторной установки.

## Размещение компенсирующих устройств в системах электроснабжения промышленных предприятий

После определения суммарной мощности компенсирующих устройств  $Q_{ку}$ , требуемых к установке в системе электроснабжения промышленного предприятия по условиям питающей энергосистемы, необходимо решить задачу размещения и выбора типа КУ в сетях промышленного предприятия.

Суммарная мощность КУ обеспечивается возможным использованием располагаемой реактивной мощности синхронных двигателей  $Q_{сд}$  и установкой в сетях батарей конденсаторов напряжением до и выше 1 кВ, т. е. соответственно  $Q_{БН}$  и  $Q_{БВ}$ :

$$Q_{ку} = Q_{сд} + Q_{БН} + Q_{БВ}.$$

Реактивная мощность  $\sum_{N_T} Q_T$  передаваемая со стороны высокого напряжения через

цеховые трансформаторы (6... 10/0,4...0,6 кВ) по условию баланса мощностей на шинах напряжением до 1 кВ трансформаторов, выражается формулой

$$\sum_{N_T} Q_T = Q_{расч.шн} - Q_{БН}.$$

Величина  $\sum_{N_T} Q_T$  определяется номинальной мощностью цеховых трансформаторов при их числе  $N_T$ , коэффициенте загрузки трансформатора  $K_{3T}$  и расчетной активной нагрузки до 1 кВ  $P_{\text{расч}\Sigma n}$ :

$$\sum_{N_T} Q_T = \sqrt{(K_{3,T} S_{\text{ном},T})^2 - (P_{\text{расч}\Sigma n})^2}$$

при условии  $Q_{\text{расч}\Sigma n} \geq \sum_{N_T} Q_T$ .

Необходимо определить оптимальное соотношение мощности источников реактивной мощности, устанавливаемых на стороне ниже 1 кВ  $Q_{\text{БН}}$ , и передачи реактивной мощности  $\sum_{N_T} Q_T$ . При этом следует учесть потери на генерацию реактивной мощности источниками напряжением до и выше 1 кВ, потери на передачу  $\sum_{N_T} Q_T$  от сети напряжением выше 1 кВ в сеть напряжением ниже 1 кВ и, главное, увеличение мощности цеховых трансформаторов при увеличении  $\sum_{N_T} Q_T$ .

Реактивная мощность  $Q_T$  протекающая через один трансформатор цеховой ТП, определяется по условию минимума потерь активной мощности без учета активных сопротивлений кабельных линий сети напряжением 10 кВ для группы из  $N_T$  трансформаторов с одинаковой номинальной мощностью:

$$Q_T = \frac{(Q_{\text{расч}\Sigma n} - Q_{\text{БН}})}{N_T}$$

Мощность батареи конденсаторов, устанавливаемых в сети напряжением до 1 кВ, питающейся от конкретного  $j$ -го трансформатора, определяется исходя из величины  $Q_T$  и реактивной нагрузки  $Q_{\text{расч}j}$  приемников электроэнергии этой сети:

$$Q_{\text{БН}j} = Q_{\text{расч}j} - Q_T$$

По полученному значению  $Q_{\text{БН}j}$  следует определить стандартное значение мощности конденсаторной установки  $Q_{\text{кв}j}$ .

Расчеты показывали, что передача реактивной мощности в сеть напряжением до 1 кВ оказывается невыгодной, если это вызывает увеличение числа трансформаторов сверх необходимого числа вследствие большой стоимости комплектных трансформаторных подстанций.

Мощность компенсирующих устройств в сети напряжением выше 1 кВ определяется по условию баланса реактивной мощности на шинах вторичного напряжения главной понижающей подстанции. Если в системе электроснабжения имеются высоковольтные СД, которые могут быть использованы как ИРМ, то определяется их располагаемая реактивная мощность, и если их мощность  $Q_{\text{сд}}$  недостаточна для соблюдения условий баланса, то определяется мощность батарей конденсаторов высокого напряжения:

$$Q_{\text{БВ}} = Q_{\text{кв}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{БН}}$$

Если цеховые трансформаторы имеют низкий коэффициент загрузки и коэффициент реактивной мощности нагрузки сетей напряжением до 1 кВ не превышает единицы, то предпочтительнее установка батарей конденсаторов в сети напряжением выше 1 кВ вследствие их более низкой удельной стоимости 1 квар, чем у низковольтных конденсаторов.

Конденсаторные установки напряжением выше 1 кВ целесообразно устанавливать на вторичном напряжении главной понижающей подстанции или распределительной

подстанции; также на РП в системе электроснабжения предприятия. Не рекомендуется устанавливать конденсаторы напряжением выше 1 кВ на бесшинных цеховых подстанциях, на которых трансформаторы присоединены наглухо или через разъединитель, выключатель] нагрузки и предохранитель, так как присоединение конденсаторных установок к этим подстанциям вызовет их усложнение и удорожание.

Нерегулируемые конденсаторные установки на напряжение до 1 кВ обычно присоединяются к цеховым распределительным пунктам, магистральным шинопроводам, если этому не препятствует окружающая среда. Место установки регулируемых конденсаторных установок напряжением до 1 кВ выбирается с учетом требований регулирования напряжения или реактивной мощности.

Точка присоединения БН одной батареи конденсаторов к магистральному шинопроводу ШМА определяется ориентировочно:

$$L_{0-Б} = L_{0-1} + \left(1 - \frac{Q_{БН}}{2Q_{\max}}\right) L_{1-к},$$

где  $L_{0-Б}$ ,  $L_{0-1}$  - длины магистрального шинопровода ШМА от начальной точки «О» до точек присоединения «Б» и «1» - первого распределительного ШРА, м,  $L_{1-к}$  - длина распределительной части ШМА со точки «1» до конечной точки магистрального шинопровода «к», а  $Q_{\max}$  - максимальная реактивная нагрузка ветви «0-1» шинопровода ШМА.

Окончательно конденсаторы устанавливаются в точке присоединения ШРА, ближайшего к расчетной точке «к» в сторону цеховой трансформаторной подстанции.

Не рекомендуется чрезмерное дробление мощности конденсаторных установок в сетях напряжением до и выше 1 кВ, так как это приводит к значительному увеличению удельных - затрат на отключающую аппаратуру, измерительные приборы, конструкции и прочее на 1 квар установленной мощности батареи. Единичная мощность БК на напряжении выше 1 кВ принимается не менее 400 квар, если присоединение выполняется с помощью отдельного выключателя. В сетях низшего напряжения не рекомендуется применять БК мощностью менее 30 квар.

Если расчетная мощность БК на отдельных участках получается менее указанных значений, то БК на них не устанавливается.

### **Регулирование мощности компенсирующих устройств**

Задание питающей энергосистемой двух значений входной реактивной мощности, которые могут быть переданы предприятию в режимах наибольшей и наименьшей активных нагрузок системы, соответственно  $Q_{э1}$  и  $Q_{э2}$ , (причем  $Q_{э2} = 0$  практически во всех случаях), предопределяет необходимость регулирования потребления реактивной мощности предприятием в течение суток.

Для регулирования потребления реактивной мощности используется автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин и регулировать батареями конденсаторов.

Регулирование конденсаторами реактивной мощности может вестись только ступенями путем деления батарей на части. Чем больше число таких ступеней, тем совершеннее регулирование, но тем больше затраты на установку переключателей и защитной аппаратуры. Обычно мощность батарей конденсаторов разделяется на две ступени:

базовую  $Q_{к.баз}$  равную реактивной нагрузке предприятия в часы минимума активных нагрузок энергосистемы и включенную постоянно;

регулируемую  $Q_{к.рег} = Q_{ку} - Q_{к.баз}$  включаемую в часы максимальных активных нагрузок энергосистемы.

Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов может производиться как вручную, так и автоматически. Автоматическое регулирование конденсаторных батарей может производиться в функции: напряжения, тока нагрузки, направления реактивной мощности относительно направления активной мощности, по времени суток.

При коммутировании БК возникают перенапряжения и броски тока. Поэтому на напряжении до 1 кВ для коммутации БК обычно применяют контакторы, на напряжении выше 1 кВ - воздушные, элегазовые или вакуумные выключатели. Для устранения переходных процессов при коммутации БК вместо выключателей можно использовать тиристорные ключи, которые позволяют включать конденсаторы в тот момент, когда мгновенное напряжение на конденсаторах равно напряжению сети, и отключать их, когда мгновенное значение тока в конденсаторах равно нулю.

### Влияние компенсирующих устройств на параметры режимов электрических сетей

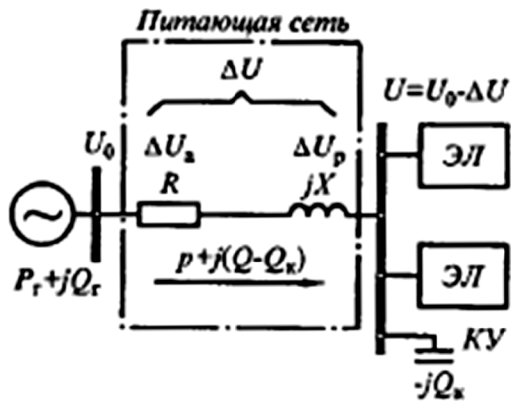


Схема влияния установки компенсирующих устройств на параметры режимов электрической сети

Установка компенсирующих устройств влияет на параметры режимов электрической сети, изменяя токи в ветвях и напряжения в узлах.

Рассмотрим влияние компенсации реактивной мощности на примере одной ветви схемы (рис.). Уменьшение полных мощностей и токов. При наличии в конце ветви КУ мощностью  $Q_k$  полная мощность, протекающая в ветви при номинальном напряжении  $U_{ном}$

$$S = \sqrt{(P_{ном})^2 + (Q_{п.ном} - Q_k)^2} = \sqrt{(P_{п.ном})^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi (1 - C_Q)^2)},$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент реактивной мощности нагрузки;  $C_Q$  - степень компенсации реактивной мощности, равная отношению реактивной мощности КУ при номинальном напряжении к реактивной нагрузке электропотребителя ЭП  $Q_{п.ном}$  при номинальном

напряжении:

$$C_Q = Q_k / Q_{п.ном}$$

Поскольку площади сечений линий и мощности трансформаторов выбирают по полной мощности (или току), ее уменьшение при  $C_Q \leq 1$  позволяет в ряде случаев применять оборудование меньших номиналов, т.е. снизить капитальные затраты. Если же есть уже линия, которая эксплуатируется, то компенсация реактивной мощности позволяет повысить ее пропускную способность по активной мощности и, следовательно, при увеличении нагрузки потребителя не менять электрооборудование.

При полной компенсации реактивной нагрузки, т.е. при  $C_Q = 1$ , мощность ветви имеет минимальное значение:

$$S_{c=1} = P_{п.ном}$$

Отметим, что при  $C_Q > 1$ , т.е. при перекомпенсации, когда  $Q_k > Q_{п.ном}$  полная мощность становится больше минимальной  $S_{c=1}$

Снижение нагрузочных потерь мощности. Для каждой ветви с активным  $R$  и реактивным сопротивлением потери полной мощности определяются как

$$\begin{aligned} \Delta S &= \frac{(P_{п.ном})^2 + (1 - C_Q)(Q_{п.ном})^2}{(U_{ном})^2} (R + jX) = \\ &= \frac{(P_{п.ном})^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi (1 - C_Q)^2)}{(U_{ном})^2} (R + jX). \end{aligned}$$

Потери полной мощности в сети при протекании только активной мощности потребителя при номинальном напряжении  $U_{ном}$  т.е. минимально возможные потери активной мощности при прочих равных условиях:

$$\Delta S_p = \frac{(P_{п.ном})^2}{(U_{ном})^2} (R + jX).$$

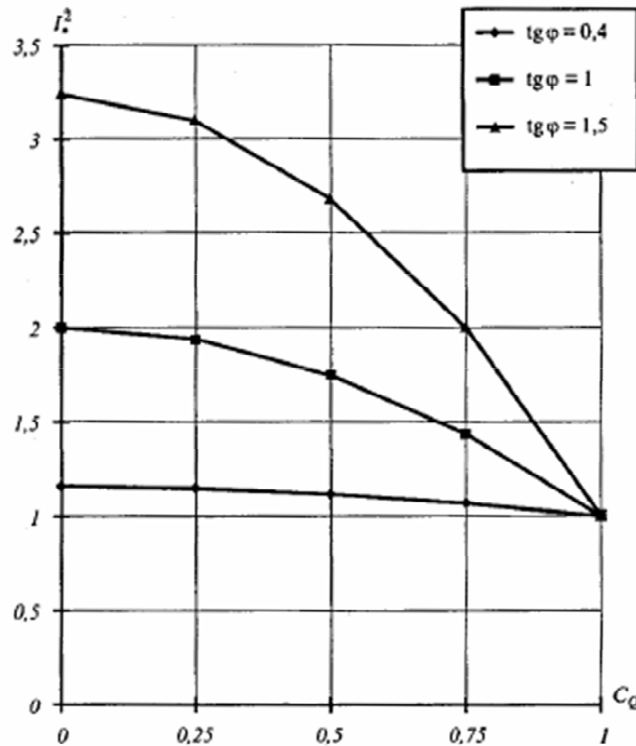
Отношение

$$\Delta S / \Delta S_p = d_0 = 1 + \text{tg}^2 \varphi (1 - C_Q)^2$$

позволяет проанализировать влияние степени компенсации реактивной мощности  $C_Q$  при разных значениях коэффициента реактивной мощности нагрузки  $\text{tg} \varphi$  на нагрузочные потери мощности. Отметим, что  $d_0 = 1$ , если напряжение равно номинальному значению  $U_{ном}$ .

На рис. показаны зависимости  $I = \Delta S / \Delta S_p$ , при разных значениях коэффициента реактивной мощности  $\text{tg} \varphi = 0,4; 1; 1,5$  и номинальном напряжении  $U_{ном}$  из которых можно сделать вывод об эффективности степени компенсации реактивной мощности.

Как видно из этих зависимостей, уровень соотношения  $I$  в первую очередь определяется степенью компенсации реактивной мощности и коэффициентом реактивной мощности.



Зависимости  $I^2 = \Delta S / \Delta S_p = f(C_Q; \text{tg} \varphi)$  при номинальном напряжении

Например, без компенсации при  $C_Q = 0$  и  $\text{tg} \varphi = 1$ :  $I^2 = 2$ , т.е. реальные потери мощности больше минимальных в два раза; а при полной компенсации  $C_Q = 1$  и любом значении коэффициента реактивной мощности их соотношение равно 1.

Отметим, что при перекомпенсации  $C_Q > 1$  и нагрузочные потери мощности становятся больше минимальных  $\Delta S_p$ .

Снижение потерь напряжения. Потери напряжения при номинальном напряжении на потребителе

$$\Delta U = \frac{P_{п.ном}}{U_{ном}} R [1 + \varepsilon \text{tg} \varphi (1 - C_Q)],$$

где  $\varepsilon$  - отношение реактивных и активных сопротивлений элемента сети:  $\varepsilon = X/R$ . Очевидно, что компенсация реактивной мощности оказывает наибольшее влияние на потери

напряжения в элементах с большим значением  $\varepsilon$ , т.е. в элементах с преобладанием реактивного сопротивления, каковыми являются трансформаторы и воздушные линии.

Напряжение на приемном конце линии  $U_k$  равно разности напряжения начала  $U_n$  и потерь напряжения  $\Delta U_{nk}$ , т.е.

$$U_k = U_n - \Delta U_{nk} = U_n \frac{P_{\text{п.ном}}}{U_{\text{ном}}} R [1 + \varepsilon \operatorname{tg} \varphi (1 - C_Q)].$$

Следовательно, при установке КУ напряжение в конце линии повышается. При перекомпенсации ( $C_Q > 1$ ) потери напряжения могут принять отрицательное значение  $\Delta U_{nk} < 0$ , напряжение в конце линии может стать больше напряжения в начале, т.е.  $U_k > U_n$ .

### **Батареи конденсаторов в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой**

Характерными резкопеременными нагрузками являются сварочные нагрузки на машиностроительных предприятиях, дуговые печи, прокатные станы и др. Главные приводы прокатных станов оснащаются регулируемыми вентильными преобразователями.

Нагрузки с регулируемыми вентильными преобразователями характеризуются большим потреблением реактивной мощности. Резкопеременный характер потребления реактивной мощности вызывает колебания напряжения в сети. Управляемые вентильные преобразователи, кроме того, значительно искажают форму кривой питающего напряжения. Нагрузки дуговых печей ввиду неравномерности потребления тока по фазам могут вызывать значительную несимметрию напряжения.

Все изложенное обуславливает принципы компенсации реактивной мощности, существенно отличающиеся от общепринятых в сетях с так называемой спокойной нагрузкой.

Особенности компенсации реактивной мощности в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой заключаются в следующем:

ввиду низкого коэффициента мощности потребителей и резкопеременного характера нагрузки необходимо осуществить компенсацию как постоянной и переменной составляющей реактивной мощности. Компенсация постоянной составляющей реактивной мощности необходима для уменьшения потребления реактивной мощности от энергосистемы. Компенсация переменной составляющей реактивной мощности преследует цель уменьшения колебаний напряжения в питающей сети;

ввиду быстрых изменений потребляемой реактивной мощности необходимо применение быстродействующих компенсирующих устройств, способных изменять регулируемую реактивную мощность со скоростью, соответствующей скорости наброса и сброса потребляемой реактивной мощности;

ограничивается применение батарей конденсаторов для компенсации постоянной составляющей реактивной мощности в сети с резкопеременной вентильной нагрузкой. Это обусловлено наличием в сети высших гармоник тока и напряжения при работе вентильных преобразователей, которые приводят к значительным перегрузкам батарей конденсаторов;

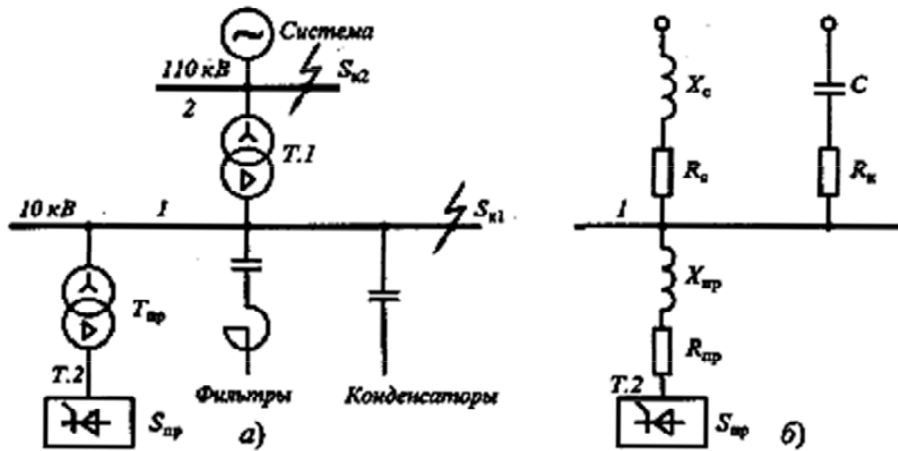
при наличии в сети высших гармоник тока и напряжения включение конденсаторов приводит к резонансным явлениям на частотах высших гармоник, что ведет к нарушению нормальной работы БК.

Сущность явлений резонанса удобно рассмотреть на примере простой схемы электроснабжения промышленного предприятия, показанной на рис. На схеме показаны три основных элемента, участвующих в резонансном процессе:

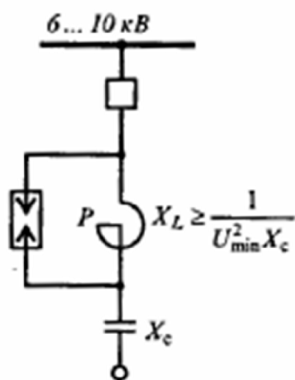
питающая сеть, упрощенно представленная в схеме замещения индуктивным  $X_Q$  и активным  $R_c$  сопротивлениями;

вентильный преобразователь как источник высших гармоник с сопротивлениями  $X_{np}$  и  $R_{np}$  - индуктивно-активная цепь в схеме замещения;

батарея конденсаторов  $C$  и  $R_k$  - емкостно-активная цепь в схеме замещения.



Однолинейная схема питающей сети с конденсаторными батареями и фильтрами высших гармоник (а) и схема замещения (б)



Однолинейная схема защиты конденсаторной батареи от высших гармоник

При отсутствии емкостных элементов (при отключении БК) частотные характеристики  $L$  линейны. Включение БК резко изменяет линейный характер частотной характеристики питающей сети, причем нелинейность частотной характеристики в значительной степени зависит от добротности контура, т. е. от соотношения  $XIR$ . Нелинейность частотной характеристики питающей сети объясняется тем, что при включении БК образуется параллельный LC-контур, состоящий из индуктивного сопротивления питающей сети и емкостного сопротивления конденсатора. Таким образом, изменяются частотные характеристики систем и возникают условия для возникновения резонанса на частотах, превышающих промышленную частоту 50 Гц. Вентильные преобразователи генерируют в сеть спектр гармоник, начиная с пятой, поэтому в каждом конкретном случае необходим расчет токовой нагрузки БК резонансной группой гармоник (вплоть до 59, 61, 71 гармоник).

Батареи конденсаторов, предназначенные для компенсации реактивной мощности в сетях, питающих нелинейную нагрузку, для их нормальной работы необходимо защищать реакторами, устанавливаемыми последовательно с конденсаторами.

### Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции.

Количество силовых трансформаторов, планируемых к установке на проектируемой подстанции, в первую очередь, определяется категоричностью потребителей по надежности электроснабжения.

При наличии потребителей первой категории их количество должно быть в соответствии с рекомендациями ПУЭ не менее двух.

Наиболее часто на подстанциях устанавливают два трансформатора или автотрансформатора. В этом случае при правильном выборе мощности трансформаторов обеспечивается надежное электроснабжение потребителей даже при аварийном отключении одного из них.

На двухтрансформаторных подстанциях в первые годы эксплуатации, пока нагрузка не достигла расчетной, возможна установка одного трансформатора. В течение этого периода необходимо обеспечить резервирование электроснабжения потребителей по сетям среднего или низшего напряжения. В дальнейшем, при увеличении нагрузки до расчетной

устанавливается второй трансформатор. Если при установке одного трансформатора обеспечить резервирование по сетям СН и НН нельзя или полная расчетная нагрузка подстанции ожидается раньше, чем через три года после ввода ее в эксплуатацию, то подстанция сооружается по конечной схеме, т. е. с двумя трансформаторами.

*Однотрансформаторные подстанции могут сооружаться для питания неотвественных потребителей третьей категории, если замена поврежденного трансформатора или ремонт его производится в промежутке времени, не превышающим одних суток.*

*Сооружение однотрансформаторных подстанций для потребителей второй категории допускается при наличии централизованного передвижного трансформаторного резерва или другого резервного источника питания от сети СН или НН, включаемого вручную или автоматически.*

Централизованный трансформаторный резерв широко используется в схемах электроснабжения промышленных предприятий. В этом случае в цехах сооружаются однотрансформаторные подстанции, и предусматривается один резервный трансформатор, который при необходимости может быть установлен на любой цеховой подстанции.

То же самое может быть предусмотрено для сетевого района, объединяющего несколько подстанций, связанных подъездными дорогами, состояние которых позволяет в любое время года перевезти резервный трансформатор на любую подстанцию.

Установка четырех трансформаторов возможна на подстанциях с двумя средними напряжениями (220/110/35/10 кВ, 500/220/35/10 кВ, и др.).

Трансформаторы и автотрансформаторы с высшим напряжением до 500 кВ включительно по возможности выбираются трехфазными.

Группы из однофазных трансформаторов устанавливаются при отсутствии трехфазных трансформаторов соответствующей мощности. При установке одной группы однофазных трансформаторов предусматривается одна резервная фаза. В ряде случаев может оказаться более экономичным применение спаренных трехфазных трансформаторов (автотрансформаторов).

Мощность трансформаторов выбирается по следующим условиям:

при установке одного трансформатора

$$S_{ном} \geq S_{max};$$

при установке двух трансформаторов

$$S_{ном} \geq 0.7 S_{max};$$

при установке  $n$  трансформаторов

$$S_{ном} \geq 0.7 \frac{S_{max}}{n-1}.$$

Здесь под  $S_{max}$  понимается наибольшая нагрузка подстанции на расчетный период пять лет.

Трансформаторы, выбранные по двум последним условиям, обеспечивают питание всех потребителей в нормальном режиме при оптимальной загрузке трансформаторов 0,6-0,7  $S_{ном}$ . При аварии или выводе одного из трансформаторов в ремонт оставшийся в работе трансформатор должен обеспечивать питание потребителей с допустимой длительной перегрузкой не более 40% от его номинальной мощности или с перегрузкой, определяемой из условий температурного режима трансформаторов.

*В некоторых случаях из-за невозможности обеспечить условия допустимой перегрузки трансформаторов разрешается их разгрузка за счет отключения всех или части потребителей третьей категории средствами автоматической разгрузки или эксплуатационным персоналом.*

*При выборе мощности автотрансформаторов, к обмотке НН которых присоединены синхронные компенсаторы, необходимо проверить загрузку общей обмотки автотрансформатора.*



### Последовательность расчета

1. Предварительно определяется расчетная мощность силового трансформатора.

#### Двухобмоточный трансформатор

$$S_{T \text{ расч}} \geq \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_3^2}}{N_T \cdot \beta_T},$$

где  $\beta_T$  и  $N_T$  – соответственно коэффициент загрузки трансформатора (для двухтрансформаторных подстанций  $\beta_T=0,7$ ; для одното трансформаторных  $\beta_T=0,8 \div 0,85$ ) и количество трансформаторов;

$Q_3$  – реактивная мощность, передаваемая через трансформатор в сеть низкого напряжения (переток реактивной мощности из сети высокого напряжения).

$$Q_3 = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_n$  – нормативный базовый коэффициент мощности, задаваемый энергосистемой потребителям в часы максимальных нагрузок.

#### Трехобмоточный трансформатор и автотрансформатор

##### *Определяется суммарная нагрузка трансформатора*

$$S_{T\Sigma} = P_{нн} + P_{сн} + j(Q_3 + Q_{сн}),$$

где  $P_{нн}$ ,  $P_{сн}$  – соответственно активная нагрузка низкой и средней сторон трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора;

$Q_3$  – реактивная мощность, передаваемая через трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) в сеть низкого напряжения;

$Q_{сн}$  – реактивная мощность, передаваемая через трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) в сеть среднего напряжения.

В целях снижения потерь мощности в распределительных сетях энергосистем  $Q_{сн}$  определяется, исходя из оптимизации режима по реактивной мощности.

Расчетная мощность трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора равна

$$S_{T(AT) \text{ расч}} \geq \frac{\sqrt{(P_{нн} + P_{сн})^2 + (Q_3 + Q_{сн})^2}}{N_T \cdot \beta_T}.$$

2. По справочным данным выбирается силовой трансформатор с номинальной мощностью  $S_{T \text{ ном}}$ , ближайшей к найденной экономической мощности.

3. Принятый к установке на подстанции силовой трансформатор проверяется по условию допустимой 40% перегрузки в послеаварийном режиме

$$\beta_{T \text{ н/а}} = \frac{S_p}{S_{T \text{ ном}}} \leq 1,4.$$

4. Если коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме превышает допустимый, тогда для выполнения данного условия необходима разгрузка трансформатора за счет отключения всех или части потребителей III категории

$$\beta_{T \text{ н/а}} = \frac{S_p - S_{III}}{S_{T \text{ ном}}} \leq 1,4,$$

где  $S_{III}$  – нагрузка отключаемых потребителей III категории, питаемых от данной подстанции, МВА.

5. Если и после отключения потребителей III категории условие допустимой перегрузки трансформаторов не соблюдается, необходимо выбрать трансформатор с большей номинальной мощностью.

## **4. Практические занятия, их содержание и объем в часах**

### **4.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий**

Цель проведения практических занятий – научить студентов определять электрические нагрузки, показатели и характеристики ГЭН, уметь выбирать номинальное напряжение сети, сечение проводов (кабелей) и мощности трансформаторов из условий технико-экономических соображений. Выбирать схемы и конструкции РУ ТЭЦ и подстанций, рассчитывать токи КЗ и на основе их расчета выбирать и проверять оборудование ТЭЦ и подстанций, рассчитывать режимы в эл. сетях, уметь выбирать систему оперативного тока на подстанции.

Практические занятия проводятся с привлечением пакета программ автоматизации математических расчетов «MathCad», ПБК «ZAPUSK», «CURSE2», «KRNЕT», «Расчет эл.сети», «Elsnab8», «АСРЕ» и задач для самостоятельного решения.

В процессе обучения студенты осваивают ручные методы расчета и средства автоматизации инженерных расчетов - компьютерные промышленные разработки необходимые для последующей их реализации в практической деятельности:

Студенты должны научиться производить расчеты мощностей электрических нагрузок, питаемых от шин подстанции, уметь определить координаты центра электрических нагрузок и выбирать оптимальные места установки подстанций.

На основе расчета электрических нагрузок произвести расчет рационального напряжения питающей сети, осуществить выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции с учетом КРМ, произвести выбор сечений проводов питающих линий, провести проверку силовых трансформаторов на допустимые перегрузки.

Для выбранных схем питающей сети и подстанции необходимо научиться осуществлять расчёты токов трехфазного и однофазного к.з.

По результатам расчетов токов к.з. уметь выбирать и проверять высоковольтные и электрические аппараты и общеподстанционные устройства, осуществить компоновку РУ ВН, СН и НН подстанции.

Студенты должны свободно выбирать схемы и конструкции подстанций, ТЭЦ, производить расчёты заземляющего устройства.

Всего предусмотрено 8 двухчасовых практических занятий, из которых завершающее занятие посвящено комплексному решению по разработке электрической части подстанции электроснабжения предприятия, города (сельскохозяйственного района).

На этом занятии студенты подводят итоги изучения дисциплины.

## 4.2. Перечень тем практических занятий

### Тематика практических занятий в 7 семестре (16 часов)

№ п/п	Наименование темы	Количество часов
1	Конструкции и схемы РУ ТЭЦ	2
2	Расчет режимов ТЭЦ	2
3	Выбор числа и мощности силовых трансформаторов на ПС с учетом КРМ	2
4	Понижающие подстанции эл. сетей 35-220 кВ. Выбор схем электрических соединений.	2
5	Понижающие подстанции эл. сетей 35-220 кВ. Компоновка электрооборудования.	2
6	Электродинамическое и термическое воздействие токов КЗ на оборудование ПС	2
7	Выбор и проверка электрических аппаратов и проводников.	2
8	Обзор задач по всем темам за семестр	2

## 4.3. Методические указания по проведению практических занятий

На первом занятии необходимо изучить типовые графики городских и сельскохозяйственных потребителей, научиться определять их показатели и характеристики. Студенты должны уметь переходить от типовых ГЭН к реальным, уметь прогнозировать ГЭН и управлять ими с помощью потребителей-регуляторов.

На втором занятии необходимо освоить существующие методы расчета электрических нагрузок городских и сельскохозяйственных потребителей на различных ступенях системы электроснабжения, научиться пользоваться нормативно-технической документацией в области проектирования и усвоить область применения каждого расчетного метода.

На третьем занятии студенты учатся применять ранее изученные экономические методы и подходы при проектировании электрической сети, осуществляют выбор вариантов построения питающих и распределительных сетей на основе технико-экономического сравнения и чистого дисконтированного дохода.

На четвертом занятии следует изучить использование номограмм и формул при определении рационального напряжения, строить систему электроснабжения с минимальным количеством ступеней трансформации, при необходимости рассматривать пути перевода существующих сетей на повышенное напряжение.

На пятом занятии осуществляется применение ранее изученных и новых методик при выборе сечения проводов (кабелей). Осваиваются специфические особенности для города и с/х по расчету потерь напряжения, мощности и энергии в трансформаторах и электрических сетях.

На шестом занятии проводится выбор устройств защиты и автоматики в городских и с/х сетях, а также определяются их уставки. Рассматриваются вопросы согласования защит и строится карта селективности.

Седьмое занятие посвящено обзору задач по всем темам - комплексному решению по разработке СЭС жилого района города (с/х района). Подводятся итоги изучения дисциплины и проводится тренинг защиту курсового проекта.

Примеры заданий на практические занятия приведены в разделе 8.

## 5. Лабораторные занятия, их содержание и объем в часах

### 5.1. Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий

Цель проведения лабораторных занятий – ознакомить студентов со схемами РУ ТЭЦ и подстанций, с устройством и конструкцией электрических аппаратов ТЭЦ и подстанций, привить навыки практической работы с электрооборудованием и условиями его эксплуатации.

### 5.2. Перечень тем лабораторных занятий

Тематика практических занятий в 7 семестре (16 часов)

№ п/п	Наименование темы	Количество часов
1	Конструкции и схемы РУ ТЭЦ	4
2	Электрооборудование и режимы работы ТЭЦ.	4
3	Типы конструкций распределительных устройств.	4
4	Основное электрооборудование, его конструкции, принципы работы и условия эксплуатации.	4

### 5.3. Методические указания по проведению лабораторных занятий

Лабораторный практикум, хотя и затрагивает только часть основных разделов учебной дисциплины, тем не менее позволяет студентам получить достаточно полное представление о конструкциях и схемах распределительных устройств, а также приобрести практические навыки в области основного электротехнического оборудования, необходимые для решения ряда практических задач повседневной инженерной деятельности в области ремонта и эксплуатации энергопредприятий и энергообъектов.

Лабораторные работы имеют различный уровень сложности и выполняются четыре часа.

Каждая лабораторная работа предусматривает самостоятельную работу студентов по освоению лекций и теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение.

Текущий контроль знаний осуществляется путем опроса студентов перед началом лабораторного занятия по вопросам, перечень которых приведен в каждой лабораторной работе.

Каждая лабораторная работа состоит из двух блоков – теоретического и практического, что позволяет осуществить закрепление и систематизацию полученной на лекции информации.

Лабораторные работы по I и III темам подробно представлены в учебном пособии А.Г. Ротачевой «Типовые схемы распределительных устройств», а по остальным темам приводятся в УМКД.

Лабораторная работа № \_\_\_\_\_  
«Высоковольтные изоляторы»

*Цель работы:* изучить конструкцию и область применения изоляторов.

*Программа работы:*

1. Изучить назначение, конструкцию и область применения станционных изоляторов.
2. То же для линейных изоляторов.
3. То же для аппаратных изоляторов.
4. Нарисовать эскизы и описать конструкцию всех типов изоляторов и дать им характеристику.
5. Ознакомиться с конструкцией изоляторов представленных в лаборатории электроснабжения.
6. Подготовить отчёт по лабораторной работе.

*Контрольные вопросы:*

1. Требования к изоляторам?
2. Виды и типы изоляторов?
3. Из каких материалов изготавливаются изоляторы?
4. Сколько изоляторов в гирлянде на напряжение 35, 110 кВ, 220 кВ?
5. Какой изолятор можно использовать вместо гирлянды в электроустановках напряжением 110 кВ?
6. Перечислить достоинства и недостатки изоляторов, выполненных из разных материалов.
7. Что такое "трекингостойкость"?

*Содержание отчёта:*

- а) название, цель и содержание работы (краткие теоретические сведения);
- б) эскизы изоляторов;
- в) письменно ответить на контрольные вопросы.

*Общие сведения*

Диэлектрики, из которых изготавливаются изоляторы, должны обладать высокой механической прочностью, поскольку изоляторы, являясь элементом конструкции, несут значительную нагрузку, должны иметь высокую электрическую прочность, позволяющую создавать экономичные и надежные конструкции изоляторов. Пробивное напряжение твердого диэлектрика в изоляторе примерно в 1,5 раза должно быть больше, чем напряжение перекрытия по поверхности, чем и определяется электрическая прочность изолятора.

Диэлектрики должны быть негигроскопичны и не должны изменять своих свойств под действием различных метеорологических факторов.

*Классификация изоляторов*

Изоляторы классифицируются по следующим признакам:

- 1) по материалу изготовления,
- 2) по назначению,
- 3) по способу установки.

По первому признаку изоляторы классифицируются следующим образом.

*Опорно-стержневые изоляторы* применяют в закрытых и открытых распределительных устройствах для крепления на них токоведущих шин или контактных деталей.

*Опорно-штыревые* изоляторы применяют для наружных установок в тех случаях, когда требуется высокая механическая прочность и опорно-стержневые изоляторы применяться не могут

*Штыревые линейные* изоляторы на напряжение 6...10 кВ состоят из фарфоровой или стеклянной изолирующей детали, в которую ввертывается металлический крюк или штырь.

*Подвесные изоляторы тарельчатого типа* широко применяются на воздушных линиях электропередачи 35 кВ и выше.

*Проходные* изоляторы применяются для изоляции токоведущих частей при прохождении их через стены, потолки и другие элементы конструкций распределительных устройств и аппаратов.

На рисунках ниже представлены различные типы изоляторов.



Специальные типы изоляторов, оболочки ОПН 10 - 35 кВ



Изоляторы для контактных сетей железнодорожного транспорта



Опорные изоляторы 10 - 35 кВ



Линейные изоляторы 10 - 135 кВ

Высокое внимание в конструкции изоляторов уделяется качеству границ раздела между материалами. Нанесение защитной оболочки на предварительно покрытый специальным праймером стеклопластиковый стержень и вулканизация непосредственно на стержне обеспечивают высокую прочность границы раздела "защитная оболочка/стержень". Прочность адгезии превышает прочность защитного покрытия, благодаря чему исключается возможность отслоения защитной оболочки от стержня при механических стрессах. Благодаря применяемой технологии нанесения цельного ребристого покрытия границы раздела между ребрами отсутствуют, что существенно повышает надежность изолятора.

Герметичность границы раздела "защитная оболочка/оконцеватель" обеспечивается нанесением части защитного покрытия поверх оконцевателя, либо применением обжатия в оконцевателе части защитного покрытия, обработанного силиконовым герметиком.

Высокая надежность границ раздела позволяет, при необходимости, проводить обмыв изоляторов струей воды под высоким давлением без риска вызвать разгерметизацию конструкции.

Для изготовления ребристой оболочки изолятора используется силиконовая

композиция, обладающая высокой трекинг-эрозионной стойкостью, превосходной гидрофобностью, высокой стойкостью к воздействующим факторам окружающей среды, хорошими технологическими свойствами.

В конструкции изоляторов используются проверенные временем и новые решения:

Силиконовая цельнолитая защитная оболочка

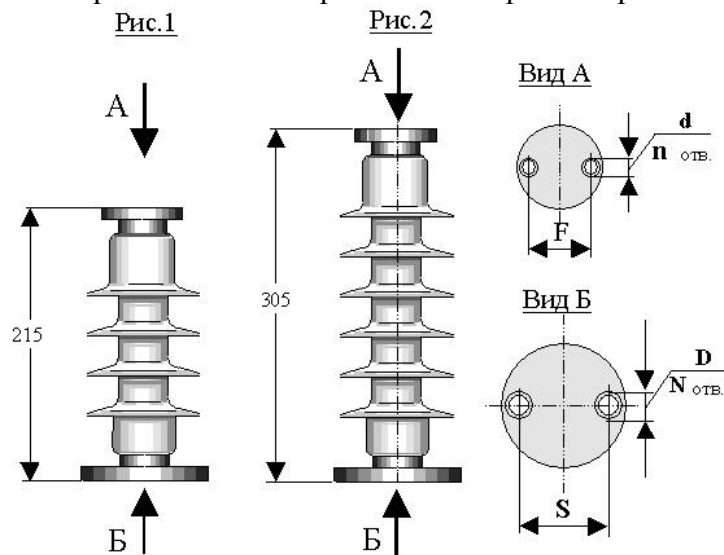
Равномерная опрессовка стержня матрицами цилиндрического профиля

Высокая надежность границ раздела

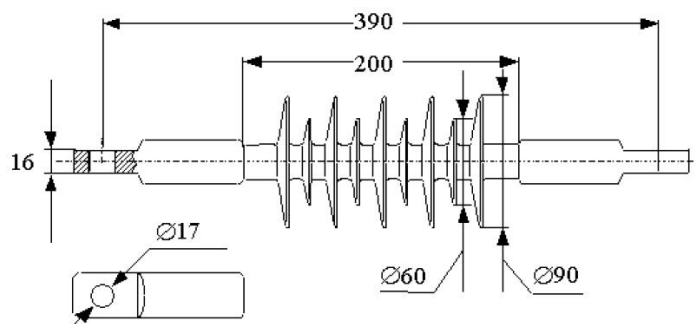
Стальные оконцеватели, оцинкованные горячим способом



Опорный стержневой полимерный изолятор на напряжение 10 кВ



Линейный подвесной стержневой изолятор  
ЛК 70/10-IV



Изолятор предназначен для использования в натяжных и поддерживающих подвесках

линий электропередачи с наибольшим рабочим напряжением 12кВ. По электрическим характеристикам изолятор соответствует нормам, предъявляемым к 20 кВ изоляторам.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Наибольшее рабочее напряжение	12 кВ
Испытательное напряжение полного грозового импульса	75 кВ
Выдерживаемое напряжение 50 Гц в сухом состоянии	42 кВ
Выдерживаемое напряжение 50 Гц под дождем	28 кВ
Минимальная разрушающая нагрузка на изгиб	4 кН
Минимальная разрушающая нагрузка на кручение	250 Нм

Тип	Рис.	n	N	F, мм	S, мм	d, мм	D, мм	Длина пути утечки, мм	Вес, кг
ИОСК-4/10 II-1 УХЛ1	1	2	2	36	70	M8	M10	300	1,6
ИОСК 4/10 II-2 УХЛ1	1	4	4	76	76	M12	M12	300	1,8
ИОСК 4/10 IV-1 УХЛ1	2	2	2	36	70	M8	M10	500	1,8
ИОСК 4/10 IV-2 УХЛ1	2	4	4	76	76	M12	M12	500	1,9

#### Требования к изоляторам

Диэлектрики, из которых изготавливаются изоляторы, должны обладать высокой механической и электрической прочностью. Диэлектрики должны быть негигроскопичны и не должны изменять своих свойств под действием различных метеорологических факторов.

#### Классификация изоляторов

Все выпускаемые промышленностью изоляторы классифицируются последующим признакам:

- 1) по материалу изготовления,
- 2) по назначению,
- 3) по способу установки.

По первому признаку изоляторы классифицируются следующим образом: изготовленные из электротехнического фарфора, закаленного стекла, а также из некоторых полимеров.

По второму признаку подразделяются на опорные, подвесные и проходные.

Опорные изоляторы в свою очередь, делятся на стержневые и штыревые, подвесные – на изоляторы тарельчатого типа и стержневые.

Все изоляторы можно условно объединить в три группы: стационарные, линейные и аппаратные.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150	УХЛ 1
Номинальное рабочее напряжение	10 кВ
Испытательное напряжение полного грозового импульса	125 кВ
Выдерживаемое напряжение пром. частоты в сухом состоянии	75 кВ
Выдерживаемое напряжение 50 Гц под дождем	60 кВ
Длина пути утечки не менее	620 мм
Минимальная разрушающая нагрузка на растяжение	70 кН
Максимальная допустимая механическая нагрузка на растяжение	26 кН
Нормальная механическая нагрузка на растяжение	14 кН
Масса	1,42 кг



Лабораторная работа № \_\_\_\_  
«Средства защиты от перенапряжений»

**Цель работы:** изучить назначение, устройство и принцип действия трубчатых и вентильных разрядников.

Программа работы:

1. Изучить процесс образования коммутационных и атмосферных перенапряжений.  
2. Нарисовать эскизы защитного искрового промежутка, а также трубчатого и вентильного разрядников.

3. Изучить конструктивные особенности и принцип действия разрядников.

- изучить назначение, устройство и принцип действия внешнего искрового промежутка;
- то же, трубчатого разрядника;
- то же вентильного разрядника;
- изучить марки трубчатых и вентильных разрядников;
- подготовить отчёт по работе.

Содержание отчёта:

- а) краткие теоретические сведения по изучаемому материалу;
- б) эскизы трубчатого и вентильного разрядников;
- в) письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается недостаток защиты защитным промежутком и когда такая защита применяется?

2. Для чего необходим внешний искровой промежуток при установке трубчатых разрядников?

3. Чем определяются верхний и нижний пределы сопровождающего тока, отключаемого трубчатым разрядником?

5. Где применяются трубчатые разрядники, их недостатки?

6. На какие напряжения выпускаются трубчатые разрядники?

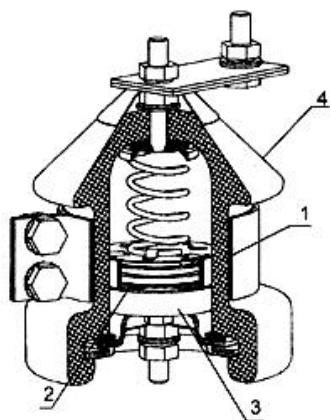
7. Каково назначение многократного искрового промежутка у рабочего сопротивления в вентильных разрядниках?

8. Какую характеристику имеет вентильный разрядник почему?

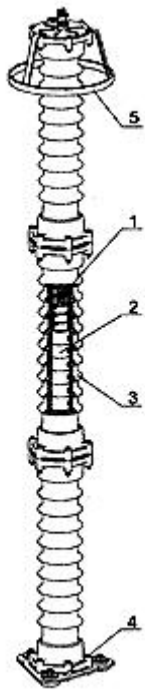
9. Какие типы трубчатых и вентильных разрядников выпускает отечественная промышленность?

**РАЗРЯДНИК**, электротехническое устройство в простейшем случае в виде двух или нескольких электродов, разделенных диэлектрическим промежутком (напр., воздухом). Применяют для защиты электрических сетей и установок от перенапряжений (электрический пробой, возникающий между электродами разрядника, предотвращает пробой изоляции между проводниками), а также для переключения электрических цепей (искусственно вызывается или гасится разряд между электродами разрядника).

Ниже приведены эскизы и краткое описание некоторых типов разрядников.



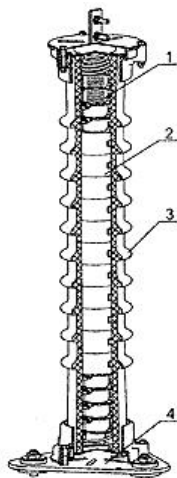
**Разрядники вентильные серии РНК на напряжение 0,5 кВ** предназначены для защиты устройств контроля изоляции высоковольтных вводов высоковольтных трансформаторов (КИВ-500). Разрядники серии РНК соответствуют ТУ16-521.218-76. Разрядник состоит из единичного искрового промежутка и рабочего нелинейного резистора (3), заключенных в герметично закрытую фарфоровую покрывку (4). Рабочий резистор разрядника изготовлен из спецмассы "Вилит" и обладает нелинейной вольт-амперной характеристикой. Искровой промежуток образован двумя фасонными латунными электродами (1), разделенными изолирующей прокладкой (2).



### Разрядники вентильные серии РВС на напряжение от 110 до 220 кВ

Разрядники вентильные серии РВС от 110 до 220 кВ предназначены для защиты от атмосферных перенапряжений изоляции электрооборудования переменного тока частотой 50 и 60 Гц. Изготавливаются для сетей с эффективно заземленной нейтралью. Разрядник каждого типа серии РВС состоит из нескольких элементов, каждый из которых содержит блок многократных искровых промежутков (1) и рабочих нелинейных резисторов (2), заключенных в герметично закрытой фарфоровой крышке (3). Рабочий резистор разрядника изготовлен из спецмассы "Вилит" и обладает нелинейной вольт-амперной характеристикой. Разрядник устанавливается на изолированном от земли основании (4) для удобства присоединения регистратора срабатывания и для измерения токов проводимости. К крышке верхнего элемента разрядника крепится экранирующее кольцо (5). В структуре условного обозначения принято:

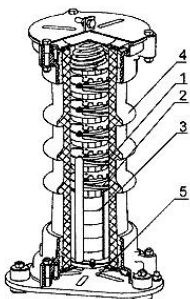
- Р** - разрядник;
- В** - вентильный;
- С** - стационарный;
- XX** - номинальное напряжение;
- М** - модернизированный;
- У(ХЛ,Т)** - климатическое исполнение;
- 1** - категория размещения;



### Разрядники вентильные серии РВС на напряжение от 15 до 35 кВ

Разрядники вентильные серии РВС предназначены для защиты от атмосферных перенапряжений изоляции электрооборудования переменного тока частотой 50 и 60 Гц. Изготавливаются для сетей с любой системой заземления нейтрали. Разрядник каждого типа серии РВС состоит из блока многократных искровых промежутков (1) и рабочих нелинейных резисторов (2), заключенных в герметично закрытой фарфоровой крышке (3). Рабочий резистор разрядника изготовлен из спецмассы "Вилит" и обладает нелинейной вольт-амперной характеристикой. Разрядник устанавливается на изолированном от "земли" основании (4) для удобства присоединения регистратора срабатывания и для измерения токов проводимости. В структуре условного обозначения принято:

- Р** - разрядник;
- В** - вентильный;
- С** - стационарный;
- XX** - номинальное напряжение;
- У(ХЛ,Т)** - климатическое исполнение;
- 1** - категория размещения;



Разрядники вентильные с магнитным гашением серии РВРД на напряжение 3,6 и 10 кВ предназначены для защиты изоляции вращающихся электрических машин переменного тока частотой 50 и 60 Гц от атмосферных перенапряжений. Они эксплуатируются в районах с умеренным холодным и тропическим климатом. В структуре условного обозначения принято:

- Р** - разрядник;
- В** - вентильный;
- С** - стационарный;
- XX** - номинальное напряжение;
- У(ХЛ,Т)** - климатическое исполнение;
- 1** - категория размещения;

Лабораторная работа № \_\_\_\_\_  
«Комплектные распределительные устройства»

Цель работы: изучить назначение, особенности конструкции и эксплуатации КРУ.

Программа работы:

1. Познакомиться с паспортными данными оборудования установленного в шкафу КРН-10 с выключателем ВМП-10.
2. Изучить конструкцию КРУ:
  - а) внешнее оформление,
  - б) типы шкафов КРУ и варианты их комплектования,
  - в) корпус шкафа КРУ,
  - г) отсеки ячейки, оборудование расположенное в отсеках и их назначение.
3. Ознакомиться с механизмами блокировки и их схемами.
4. Изучить конструкцию масляного выключателя ВМП-10.
5. Изучить привод выключателя ВМП-10.
6. Начертить схему ячейки.
7. Выполнить эскиз шкафа КРУ, с размещённым оборудованием;
8. Подготовить отчёт по работе.

Содержание отчёта:

- а) краткие теоретические сведения о назначении и применяемых видах КРУ;
- б) эскиз ячейки КРУ с расположением оборудования;
- в) письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Где применяются КРУ?
2. Какие бывают схемы первичных цепей в шкафах КРУ?
3. Для чего предназначен механизм блокировки?
4. Какие меры безопасности заложены в конструкции ячейки?
5. Какие выключатели встраиваются в КРУ?
6. Назначение привода?
7. Тип рабочих и дугогасительных контактов масляного выключателя?

Комплектное распределительное устройство (КРУ) - защищенное электротехническое устройство, предназначенное для приема и распределения электрической энергии и состоящее из шкафов КРУ со встроенными в них аппаратами для коммутации, управления, измерения, защиты и регулирования, а также с несущими конструкциями, кожухами, электрическими соединениями и вспомогательными элементами.

Комплектные распределительные устройства подразделяются на КРУ внутренней установки и КРУ наружной установки. КРУ внутренней установки 6 -10 кВ - устройства, предназначенные для работы в закрытых помещениях или сооружениях, выпускаются с одинарной системой сборных шин. По типу коммутационного аппарата их можно разделить на КРУ с маломасляными, вакуумными или электромагнитными выключателями КРУ наружной установки 6-10 кВ - устройства, предназначенные для открытых РУ. Они состоят из связанных между собой металлических шкафов с встроенными в них аппаратами и приборами, устройствами управления, защиты и автоматики.

В состав КРУ могут входить: шинные мосты между двумя рядами ячеек; шинные вводы; кабельные блоки для ввода силовых кабелей; кабельные лотки для подводки к ряду КРУ контрольных кабелей; блоки панелей для размещения общеподстанционной аппаратуры и ввода контрольных кабелей; переходные шкафы для стыковки с КРУ других серий.

КРУ представляет собой устройство, состоящее из закрытых металлических шкафов с встроенными в них аппаратами, измерительными и защитными приборами и вспомогательными устройствами. Шкафы, с завода-изготовителя поступают на место монтажа с полностью собранным и готовым к работе оборудованием. Применение КРУ приводит к сокращению объема, срока проектирования и монтажа электрооборудования.

Шкаф состоит из металлического корпуса, который для безопасного обслуживания и локализации аварий разделен на отсеки с автоматически закрывающимися металлическими шторками.

Ниже представлены описания и устройство некоторых КРУ.



**КРУ К-63.** Комплектные распределительные устройства напряжением 6-10 кВ серии К-63 предназначены для приема и распределения электрической энергии переменного трехфазного тока промышленной частоты 50 и 60 Гц напряжением 6 и 10 кВ. КРУ серии К-63 применяются в качестве распределительных устройств 6-10 кВ, в том числе распределительных устройств трансформаторных подстанций, включая комплектные трансформаторные подстанции (блочные) 220/110/35/6-10 кВ, 110/6-10 кВ, 110/35/6-10 кВ, для электрических станций и систем электрификации железнодорожного транспорта. КРУ серии К-63 могут поставляться для расширения уже действующих распредустройств других производителей, соединяться они могут через переходные шкафы, входящие в состав КРУ.

#### Условия эксплуатации.

Шкафы КРУ серии К-63 предназначены для работы внутри помещения (климатическое исполнение УЗ и ТЗ по ГОСТ15150-69) при следующих условиях:

- верхнее рабочее (эффективное) значение температуры окружающего воздуха для исполнения УЗ - не выше 40°C, для исполнения ТЗ - 45°C
- нижнее значение температуры окружающего воздуха для исполнения УЗ - минус 25°C, для исполнения ТЗ - минус 10°C
- тип атмосферы типа II по ГОСТ 15150-69 (примерно соответствует атмосфере промышленных районов)

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Наименование параметра, показателя квалификации	Значение параметра, исполнение
1. Номинальное напряжение (линейное), кВ: при частоте 50 Гц при частоте 60 Гц	6,0; 10 6.6; 11
2. Наибольшее раб. напряжение (линейное), кВ	127.2;
3. Номинальный ток главных цепей ячеек КРУ, А:	
для исполнений УЗ:	
при частоте 50 Гц	630;1000;1600
при частоте 60 Гц	630;1250
для исполнения ТЗ:	
при частоте 50 Гц	630;1250
при частоте 60 Гц	630;1000
4. Номинальный ток сборных шин, А	
при частоте 50 Гц	1000*;1600;2000;3150
при частоте 60 Гц	800*;1000;1600;2000
5. Номинальный ток отключения выключателя,встроенного в КРУ, кА:	
при частоте 50 Гц	12,5; 16; 20; 25; 31,5***
при частоте 60 Гц	16; 25
6. Ток термической стойкости (кратковременный ток) при времени протекания 3 с, кА	20;31.5**
7. Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей шкафов КРУ, кА	51;81***
8. Уровень изоляции по ГОСТ 1516.1 -76, уровень"б"	Нормальная изоляция
9. Вид изоляции	Возд., твердая, комбинированная
10. Наличие изоляции токоведущих частей	С неизолированными шинами, комбинированные

11. Наличие в ячейках выдвижных элементов	С выкатными элементами, без выкатных элементов
12. Вид линейных высоковольтных подсоединений	Кабельные, шинные
13. Условия обслуживания	С двухсторонним обслуживанием
14. Степень защиты по ГОСТ 14254-96	Ячеек КРУ-1Р20. а приоткрытых дверях релейных шкафов и нахождении выдвижного элемента ячейки в контрольном положении - 1Р00
15. Наличие дверей в отсеке выдвижного элемента ячейки	Ячейки без дверей
16. Вид основных ячеек КРУ в зависимости от встраиваемого электрооборудования	выключателями высокого напряжения с разъединяющими контактами с трансформаторами напряжения с силовыми трансформаторами комбинированные с разрядниками или ОПН со статическими конденсаторами
17. Вид управления	Местное, дистанционное
18. Габаритные размеры высоковольтных ячеек без шинопровода, высота / глубина / ширина, мм, не более	2268/1250(1450****)/750
19. Масса, кг, не более	600

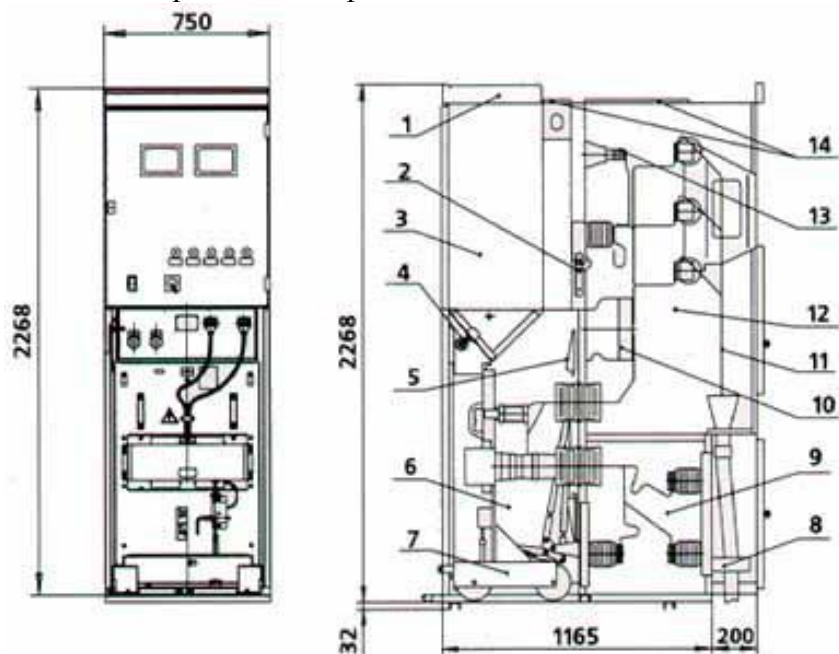
\* КРУ со сборными шинами на ток 1000 А при частоте 50 Гц и на ток 800 А " при частоте 60 Гц выполняются только на ток электродинамической стойкости 51 кА

\*\* для КРУ с трансформаторами тока на номинальные токи менее 600 А термическая и электродинамическая стойкость определяется стойкостью трансформатора тока

\*\*\* в зависимости от типа встраиваемого выключателя параметры тока отключения могут уточняться

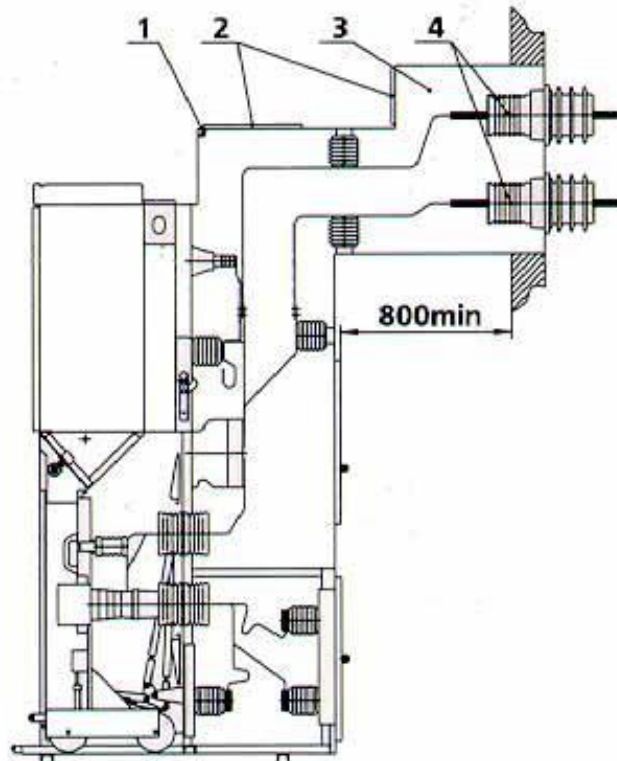
\*\*\*\* КРУ с подключением силового кабеля внутри ячейки

КРУ К63. Чертеж 1. Шкаф кабельного ввода с подключением в шкафу



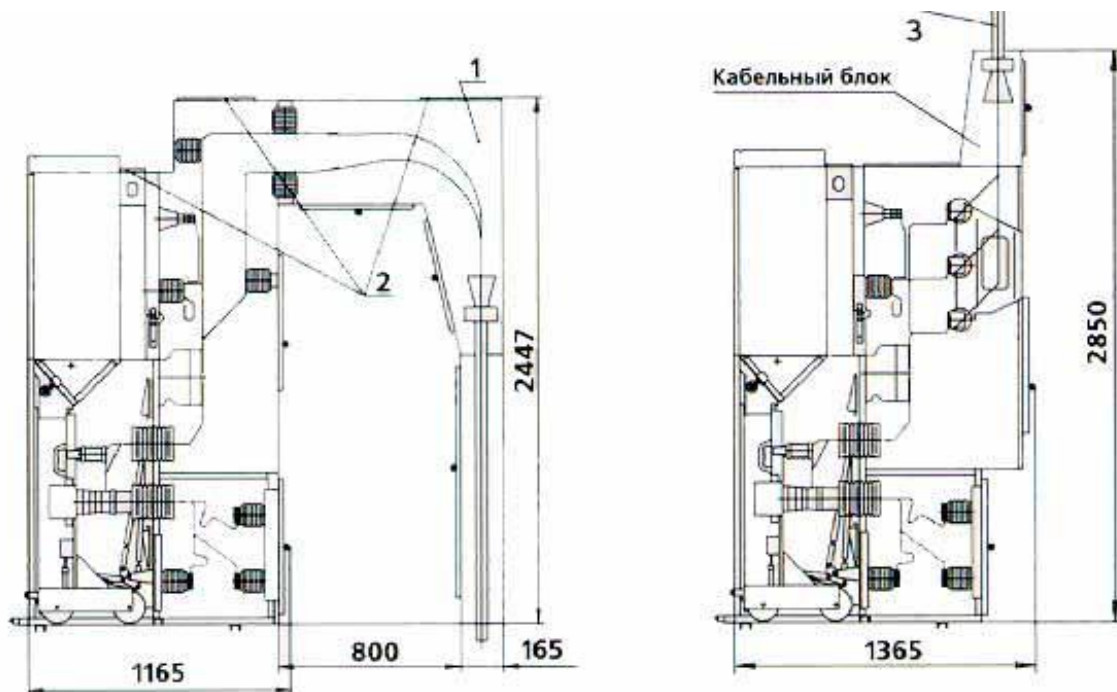
1. Лоток; 2. Заземляющий разъединитель; 3. Релейный шкаф; 4. Блокировочный замок;
5. Шторочный механизм; 6. Отсек выкатного элемента; 7. Выкатной элемент с вакуумным выключателем типа ВВ/ТЕЛ; 8. Трансформатор типа ТДЗЛ; 9. Отсек сборных шин;
10. Трансформатор тока; 11. Силовой кабель; 12. Отсек ввода; 13. Ограничитель перенапряжения типа ОПН; 14. Клапаны разгрузки избыточного давления.

КРУ К63. Чертеж 2. Шкаф шинного ввода/вывода

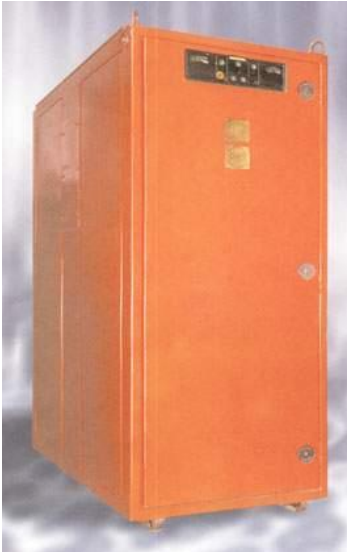


1. Фототиристор типа ТФ; 2. Клапаны разгрузки избыточного давления; 3. Шинный блок;
4. Изолятор типа ИПУ.

КРУ К63. Чертеж 3. Шкаф кабельного ввода/вывода с подключением вне шкафа



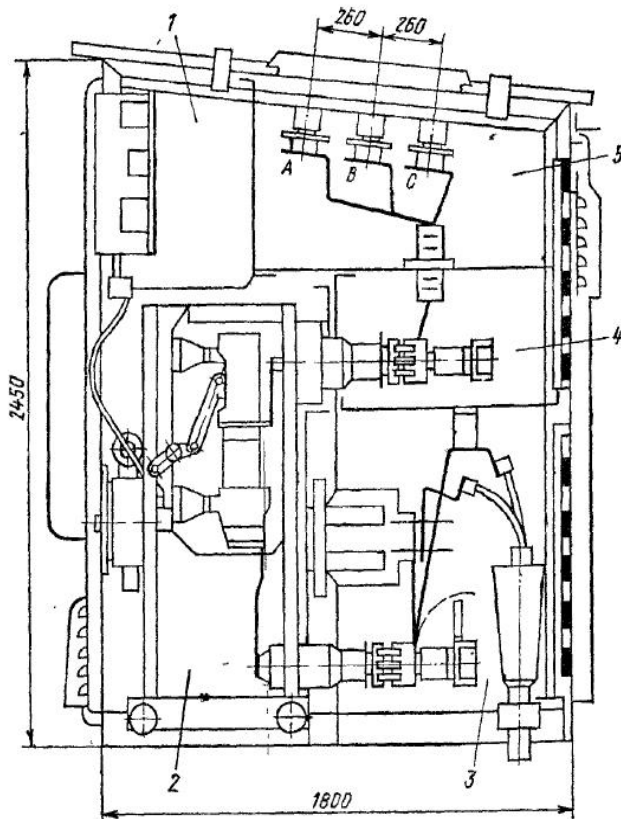
1. Кабельный блок; 2. Клапаны разгрузки избыточного давления; 3. Высоковольтный кабель.



**Устройство комплектное распределительное КРУРН-6А УХЛ5.** Шкаф КРУРН-6А УХЛ5 предназначен для приема и распределения электрической энергии напряжением 6 кВ частоты 50 Гц, защиты сетей с изолированной нейтралью и управления токоприемниками в железнодорожных и угольных не опасных по газу и пыли, на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, для питания трансформаторных подстанций.

**Техническая характеристика**

Номинальное напряжение, кВ	6
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2
Номинальный ток, А:	
- сборных шин	630
- отходящих присоединений	50, 100, 160, 200, 315, 400
- вводных и секционных	315, 400, 630
Частота, Гц	50
Номинальный ток отключения, кА	10
Габаритные размеры, мм	800x1770x1400



**Шкаф КРУН серии К-VI-У**

1- отсек вторичной коммутации; 2- тележка с выключателем ВМП-10 К и пружинным приводом; 3 – отсек нижних разъемных контактов, трансформаторов тока, кабельного ввода; 4 – отсек верхнего разъемного контакта; 5 – отсек сборных шин.

Первый отсек – отсек тележки. Второй отсек – отсек сборных шин. Третий отсек – приборный шкаф.

**«КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ ТИПА КТП-10/0,4 кВ»**

Цель работы: изучить назначение и устройство КТП.

Программа работы:

1. Изучить назначение и устройство КТП
2. Нарисовать внешний вид КТП и схему ее электрических соединений.
2. Записать паспортные данные КТП.
3. Изучить назначение и составные части вводного устройства.
4. Изучить силовой трансформатор (его паспортные данные, принцип действия и т.д.).
5. Разобраться с составными частями распределительного устройства низкого напряжения.
6. Изучить схему электрических соединений КТП.
7. Выполнить отчёт по лабораторной работе.

Содержание отчёта:

- а) краткие теоретические сведения;
- б) эскиз КТП и схема её электрических соединений;
- в) письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Каким образом осуществляется управление уличным освещением?
2. Какое оборудование входит в вводное устройство КТП?
3. Устройство и принцип действия силового трансформатора.
4. Как по коэффициенту трансформации определить назначение силового трансформатора?
5. Какое оборудование входит в состав распределительного устройства низкого напряжения?

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) изготавливаются на заводах и крупноблочными узлами доставляются на место монтажа.

КТП 6-10/0,4-0,23 кВ внутренней и наружной установки широко применяются для электроснабжения промышленных предприятий, сельскохозяйственных и коммунальных потребителей. Такие КТП комплектуются силовыми трансформаторами типа ТНЗ с негорючим заполнителем, трансформаторами типа ТМЗ герметичного исполнения с азотной подушкой или обычными масляными трансформаторами ТМ, ТСМА мощностью 25 - 1000 кВА.

Комплектные трансформаторные подстанции сельскохозяйственного назначения как правило выполняются наружной установки и предназначены для *приема, преобразования и распределения* электрической энергии потребителям.

Подстанция состоит из распределительных устройств высокого и низкого напряжения, силового трансформатора. Основным элементом подстанции является силовой трансформатор типа I. Трансформатор состоит из магнитопровода, обмоток (ВН - высшего) - низшего напряжения), бака и крышки. Трансформаторы мощностью 6,3-кВА имеют обмотку из алюминия, а трансформатор 25 кВА - из меди. Распределительное устройство ВН (вводное устройство) 6-10 представляет собой металлический шкаф (в котором установлены силовые предохранители ПК-6 или ПК-10) с проходными изоляторами установленными на крышке.

Силовой трансформатор размещается под шкафом ввода и устанавливается на раме. Изоляторы ВН и НН трансформатора закрываются защитным металлическим кожухом, который крепится к крышке трансформатора задней части шкафа ввода. Трансформаторы ТМ-25, ТМ-40, ТМ-100 выполнены без охладителей; ТМ-160, ТМ-2150, ТМ-400 – радиаторными.



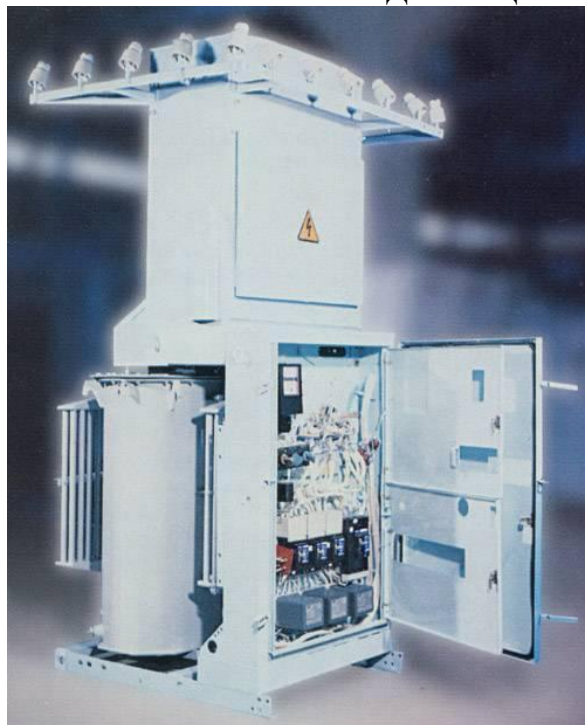
КТП ТУПИКОВОГО И ПРОХОДНОГО ТИПА мощностью 63 - 400 кВА напряжением 6 (10) кВ.

Подстанции трансформаторные комплектные представляют собой однострансформаторные подстанции наружной установки и служат для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частоты 50 Гц напряжением 6 или 10 кВ, преобразования в электроэнергию напряжением 0,4 кВ и снабжения ею потребителей в районах с умеренным климатом (от -40°C до +40°C). КТП выполняется с кабельными или воздушными вводами и выводами в различных сочетаниях. При воздушном вводе КТП подключается к ЛЭП посредством разъединителя, который поставляется комплектно с КТП и устанавливается на ближайшей опоре.

В КТП на отходящих линиях установлены стационарные автоматы. Патроны высоковольтных предохранителей установлены внутри шкафа КТП.

Подстанции обеспечивают учет активной электрической энергии. В КТП имеются электрические и механические блокировки, обеспечивающие безопасную работу обслуживающего персонала. В КТП имеется фидер наружного уличного освещения, который включается и отключается автоматически. Для создания нормальных условий работы низковольтной аппаратуры схемой предусмотрен обогрев.

#### КОМПЛЕКТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ КТП-25-250/10/0,4-У1



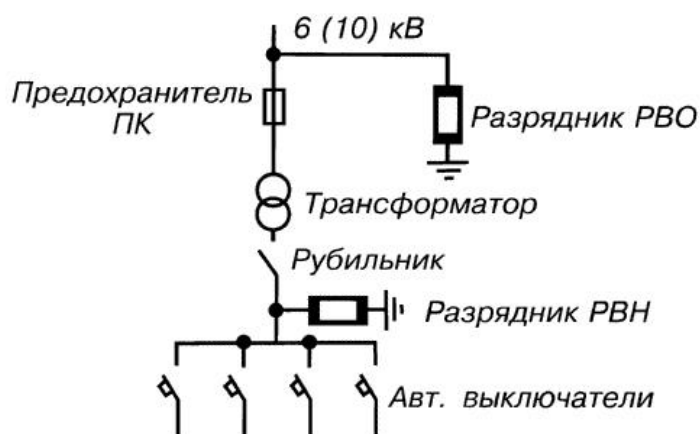
Подстанции трансформаторные комплектные (КТП) представляют собой однострансформаторные подстанции тупикового типа наружной установки, которые служат для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6 или 10 кВ, преобразования ее в электроэнергию напряжением 0,4 кВ и снабжения ей потребителей.

Комплектные трансформаторные подстанции КТП-25-250/10/0,4-У1 мачтовые наружной установки предназначены для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, отдельных населенных пунктов и небольших промышленных объектов.

КТП имеет следующие основные части:

1. Устройство со стороны высшего напряжения (УВН);
2. Трансформатор силовой наружной установки;
3. Распределительное устройство со стороны низшего напряжения (РУНН) с автоматическими выключателями на отходящих линиях.

### Однолинейная схема



Комплектно с КТП поставляется разъединитель наружной установки типа РЛНД-10 с приводом, а также площадка обслуживания шкафа РУНН.

### НОМЕНКЛАТУРА ПОДСТАНЦИЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ 10 кВ

1. Подстанции комплектные трансформаторные типа КТП мощностью от 63 до 630 кВА.
2. Подстанции комплектные двухтрансформаторные мощностью от 250 до 1600 кВА внутренней установки.
3. Подстанции двухтрансформаторные комплектные мощностью от 160 до 630 кВА.
4. Подстанции комплектные трансформаторные тупиковые мощь в корпусе из железобетона.
5. Подстанции комплектные трансформаторные передвижные м.
6. Подстанции комплектные двухтрансформаторные блочные мощностью 250 - 630 кВА.

### ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ КОРПУСОВ БЛОКОВ:

- из панелей "Сэндвич" блоки РУНН, РУВН, трансформаторный блок металлический;
- из металла - блоки РУВН, РУНН, трансформаторный блок;
- из железобетона, шесть блоков.

### УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Климатическое исполнение У1 по ГОСТ 15150.

Высота над уровнем моря 1000м.

Температура окружающего воздуха от -40 до +40 С°.

Окружающая среда должна быть невзрывоопасная, не содержать агрессивных газов и испарений, химических отложений, тип атмосферы II по ГОСТ15150-69

### КОМПЛЕКТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ



Подстанция комплектная трансформаторная тупиковая в корпусе из железобетона типа КТП-ТВ



Подстанции комплектные двухтрансформаторные внутренней установки типа 2КТПВ



Подстанции комплектные двухтрансформаторные блочные в корпусе из железобетона типа KTPB



Подстанции комплектные двухтрансформаторные типа 2KTP



Подстанция комплектная трансформаторная типа KTP-ПВ

#### КРАТКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Параметры  
 Мощность силового трансформатора, кВА  
 Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ  
 Номинальное напряжение на стороне НН, кВ  
 Вид силового трансформатора

Значения  
 63; 100,160; 250; 400; 630  
 6; 10  
 0,4; 0,23  
 сухой; масляный



Подстанция комплектная трансформаторная тупиковая типа KTP-TK

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Комплектные трансформаторные подстанции типа KTP напряжением 6/10 кВ предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 и 60 Гц в сетях электроснабжения промышленных предприятий, и других объектов.

#### ОСОБЕННОСТИ

Подстанции изготовлены на основе сварных конструкций. Номинальные значения рабочих параметров, конструкция и сетка схем позволяют выполнять оптимальные решения в соответствии с требованиями заказчика.

#### ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ

однотрансформаторные мощностью 63; 100; 160; 250; 400; 630 кВА

двухтрансформаторные мощностью 250; 400; 630 кВА

кабельный ввод; воздушный ввод; отходящие линии кабельные; отходящие линии воздушные; проходные; тупиковые; металлический корпус; корпус из панелей "Сэндвич"; корпус из железобетона

#### КОНСТРУКЦИЯ ПОДСТАНЦИЙ

конструкция из собранных с помощью сварных и болтовых соединений узлов из металлических листов, или ж/б плит или панелей "Сэндвич" и профилей

#### БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

высокая надежность за счет применения нормированных компонентов и стандартизованных аппаратов, а также проходных и опорных изоляторов, имеющих ребра с высокой трекинговой стойкостью; просторный отсек кабельных присоединений; комплект механических блокировок.

#### КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

- выключатель нагрузки
- разъединитель
- предохранители
- заземляющий разъединитель
- автоматические выключатели
- рубильники

Лабораторная работа № \_\_\_\_\_  
«Разъединители короткозамыкатели и отделители»

**Цель работы:**

изучить конструкции разъединителей, короткозамыкателей и отделителей наружной установки 35-110 кВ; изучить работу приводов и блокировок.

**Программа работы:**

1. Изучить какие операции допускается производить с помощью разъединителя согласно ПУЭ.

2. Изучить разъединители внутренней установки серий РВ, РВО, РВК.

3. Изучить разъединители наружной установки серий РЛНЗ, РОН, РОНЗ.

4. Изучить короткозамыкатель типа КЗ-3 5:

- а) включающие пружины,
- б) ножи короткозамыкателя и связь между ними,
- в) неподвижные контакты и изоляторы.

5. Познакомиться с конструкцией и работой отделителя типа ОД-35/600:

- а) включающие пружины,
- б) контактная система отделителя,
- в) соединительные тяги полюсов отделителя.

6. Познакомиться с устройством привода ШПК

- а) вал привода и вал рукоятки, соединение этих валов,
- б) механизм свободного расцепления с защелкой,
- в) отключающая катушка и реле максимального тока (РТМ),
- г) сигнально-блокировочные контакты и нагревательный элемент.

7. Изучить схему совместной работы короткозамыкателя и отделителя:

- а) механическая блокировка,
- б) электрическая блокировка.

**Содержание отчета:**

1) Дать описание конструкции разъединителя, короткозамыкателя и отделителя.

2) Эскизы разъединителя, короткозамыкателя и отделителя.

3) Схема совместной работы короткозамыкателя и отделителя.

4) Ответить на контрольные вопросы.

5) Выводы по работе.

**Контрольные вопросы:**

1. Область применения разъединителей и их назначение.

2. Какие операции можно производить разъединителем?

3. В каких случаях применяются короткозамыкатели и отделители и какова последовательность их работы?

4. Для какой цели нужен трансформатор тока ТШЛ-0,5?

5. Как осуществляется механическая блокировка между короткозамыкателем и отделителем?

6. Достоинства и недостатки короткозамыкателя и отделителя.

*Разъединители*

Разъединители являются простейшими коммутационными аппаратами, используемыми на электрических станциях и подстанциях, и предназначены для включения и отключения электрических цепей высокого напряжения при отсутствии токов нагрузки и создания в них видимого разрыва. Контактная система разъединителей не имеет дугогасительных устройств, поэтому при ошибочном отключении нагрузки возникает устойчивая дуга, которая приводит к повреждению оборудования и несчастным случаям с обслуживающим персоналом. В этой связи необходимым требованием при работе с разъединителями является следующее: *прежде чем оперировать разъединителем,*

*электрическая цепь должна быть разомкнута с помощью выключателя!*

К разъединителям предъявляются следующие одинаковые требования:

- разъединитель должен создавать видимый разрыв цепи;
- должен быть электродинамически и термически устойчивым;
- должен допускать четкое включение и отключение при экстремальных условиях работы (обледенение, снег, дождь, ветер);
- должен иметь наиболее простую конструкцию, удобную для монтажа и эксплуатации.

*Классифицируются* разъединители по следующим признакам:

- по числу полюсов - одно- и трехполюсные;
- по конструкции - рубящего, поворотного, катящегося, пантографического и подвесного типа;
- по способу установки – с вертикальным и горизонтальным расположением ножей;
- по роду установки - для внутренних и наружных установок.

Разъединители для внутренней установки

Для внутренней установки применяются однополюсные (РВО) или трехполюсные (РВ, РВК и др.) разъединители. Трехполюсные разъединители могут выполняться на общей раме или на отдельных рамах для каждого полюса.

Отдельные полюсы объединяются общим приводным валом.

На токи до 1000 А нож разъединителя выполняется из двух медных полос, на большие токи применяются ножи из трех-четырёх полос.

В разъединителях рубящего типа (рис.1) нож вращается вокруг одного из неподвижных контактов. Движение ножу передается от вала через фарфоровые тяги. Необходимое давление в контактах создается пружинами.

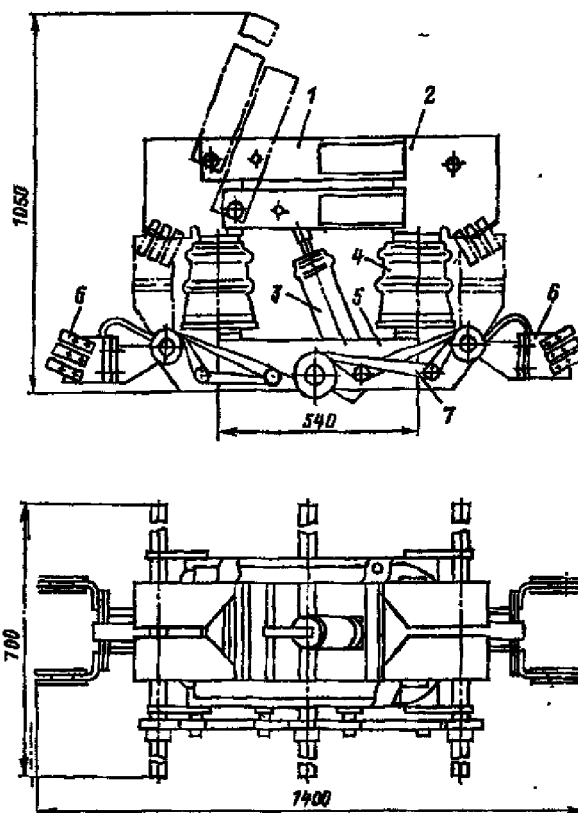


Рис. 1. Разъединители рубящего типа для внутренней установки с двумя заземляющими ножами РВРЗ-2-20/8000 (один полюс).

- 1 – подвижные ножи, 2 – неподвижный контакт, 3 – фарфоровая тяга, 4 - опорный изолятор,
- 5 – рама, 6 – заземляющие ножи, 7 – механическая блокировка между главными и заземляющими ножами.

Включение и отключение главных ножей осуществляется электродвигательным приводом, позволяющим производить эти операции дистанционно. Во включенном и отключенном положениях разъединитель надежно фиксируется системой рычагов привода, чтобы исключить самопроизвольное отключение или включение.

Разъединители выбирают по номинальному напряжению и току, роду установки и проверяют на термическую и динамическую стойкость токам короткого замыкания.

*Разъединители для наружной установки.* Разъединители, устанавливаемые в открытых распределительных устройствах, должны обладать соответствующей изоляцией и надежно выполнять свои функции в неблагоприятных условиях окружающей среды.

*Разъединители рубящего типа.* Разъединитель имеет два заземляющих ножа, привод главных ножей - электродвигательный (ПДН), а у заземляющих ножей - ручной. Недостатком этого разъединителя является его большие габариты, что усложняет его монтаж и эксплуатацию. Кроме того, в случае обледенения, для разрушения корки льда ножу разъединителя необходимо сообщать поступательно-вращательное движение, чем усложняется кинематика привода.

*Разъединители горизонтально поворотного типа.* Они выпускаются на напряжение 10 - 750 кВ. В этих аппаратах главный нож состоит из двух частей, как и у разъединителей рубящего типа, но эти части перемещаются в горизонтальной плоскости при повороте колонок изоляторов, на которых закреплены. Один полюс является ведущим, к нему присоединен привод. Движение к двум другим полюсам (ведомым) передается тягами. Эти разъединители могут иметь один или два заземляющих ножа. Контактная часть разъединителя состоит из ламелей, укрепленных на конце одного ножа, и контактной поверхности на конце другого ножа. При включении нож входит между ламелями. Давление в контакте создается пружинами. Достоинством этих аппаратов является их значительно меньшие габариты и более простой механизм управления. Кроме того, в случае обледенения, при отключении нож разъединителя как бы «ломается» на две части, поэтому значительно облегчается работа привода.

*Пантографические разъединители* со складывающимися ножами имеют очень сложную конструкцию. В нашей стране распространение не получили.

*Подвесные разъединители.* Они имеют подвижную контактную систему, состоящую из груза, снабженного пружинящими лапами и контактными наконечниками, к которым приварены токоведущие провода. Вся система подвешена на гирлянде изоляторов к порталу. Неподвижная контактная система состоит из кольца, укрепленного на опорных изоляторах или на трансформаторе тока. В отключенном состоянии подвижный контакт поднят. При включении освобождается трос, идущий к приводу, груз опускается вниз и наконечники приходят в соприкосновение с кольцом. В результате цепь — замыкается. Для заземления применяется телескопический заземлитель.

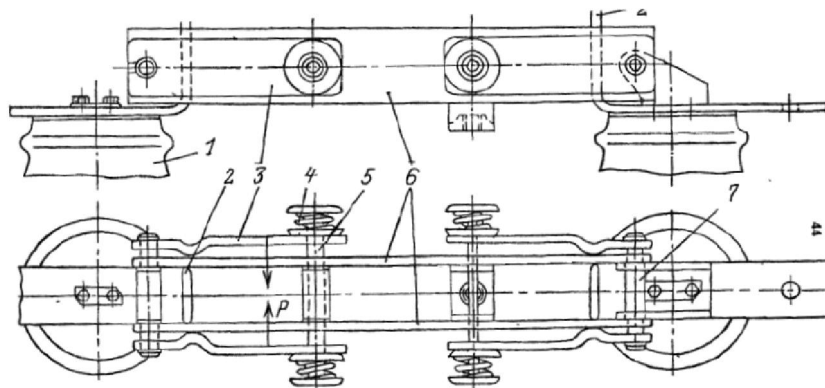


Рис 2. Контактная система разъединителей рубящего типа

1 – изолятор, 2 – неподвижный контакт, 3 – стальные пластины, 4- пружины,  
5 – стержень, 6 – нож, 7 – ось.

### Короткозамыкатели и отделители

Короткозамыкатель – это автоматически включающийся разъединитель, предназначенный для создания искусственного короткого замыкания. Двухполюсные короткозамыкатели применяют в установках 35 кВ (рис.3) при срабатывании которых создается искусственное двухфазное короткое замыкание.

Однополюсные короткозамыкатели применяют в сети с заземленной нейтралью напряжением 110 кВ и выше.

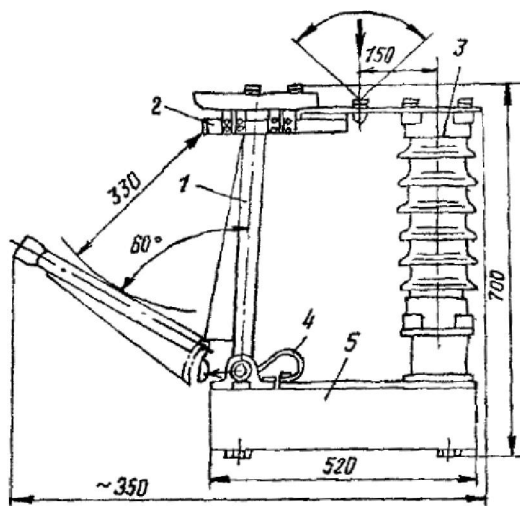


Рис. 3. Короткозамыкатель КЗ – 35.

1 – нож, 2 – неподвижный контакт, 3 – изолятор, 4 – шинка заземления, 5 – рама.

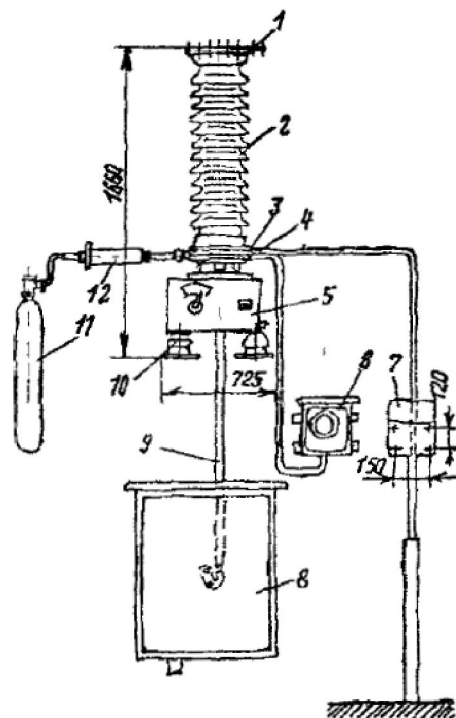


Рис. 4. Короткозамыкатель с элегазовым наполнителем КЭ – 110.

1 – контактный вывод, 2- контактная камера, 3 – гидравлический затвор, 4 – присоединение заземляющей шины, 5- основание, 6 –мановакуумметр, 7 – трансформатор тока ТЛ – 0,5, 8 – привод, 9 –тяга, 10 – изолятор, 11 – баллон с элегазом, 12- фильтр.

Отделитель закрытого исполнения с элегазовым наполнением предназначен для отключения и включения токов намагничивания силовых трансформаторов и зарядных токов линий. В конструкцию отделителя входят три полюса, установленные на общем основании.

Токоведущие провода присоединяются к контактным выводам на верхнем и среднем фланцах, внутри контактной камеры находится неподвижный контакт розеточного типа и полый подвижный контакт с экраном. Включение происходит за счет пружин привода ППО. Давление в контактах создается за счет сжатой пружины и пружинящего розеточного контакта. Отключение происходит автоматически за счет отключающих пружин, расположенных в основании отделителя.

Короткозамыкатель и отделитель, устанавливаемые на подстанциях, работают строго определенной последовательности, а именно: при повреждении силового трансформатора под действием релейной защита включается короткозамыкатель и создает двухфазное короткое замыкание на землю в питающей линии электропередачи. Тогда происходит отключение выключателя, установленного в начале линии электропередачи, который разрывает ток короткого замыкания. После разрыва тока к.з. приходит в действие отделитель и отключает силовой трансформатор от линии. Чтобы обеспечить нужную последовательность работы, между короткозамыкателем и отделителем осуществляется блокировка.

Принципиальная схема такой блокировки изображена на рис. 5

Блокировка работает следующим образом.

При повреждении силового трансформатора приходят в действие реле максимального тока 2, которое опускает защелку 3, удерживающую короткозамыкатель КЗ в отключенном положении и короткозамыкатель под действием пружины 4 включается. При замыкании его контактов происходит короткое замыкание линии на землю, вследствие чего по линии и короткозамыкателю будет протекать ток короткого замыкания. Во вторичной обмотке трансформатора тока 6 и присоединенного к нему электромагнита (блокирующего реле) 7 отделителя будет протекать трансформированный ток короткого замыкания, удерживающий сердечник 8 в нижнем положении. Установка трансформатора тока 6 и блокирующего реле 7 отделителя обеспечивает отключение последнего только после разрыва выключателем В на питающем конце линии. После отключения этого выключателя ток, протекающий в линии и короткозамыкателе становится равным нулю. Тогда сердечник 8 поднимается и сбивает защелку 10. Пружина 11 через изоляционную тягу 12 отключает отделитель. Блокирующая пластина 5, соединенная с механизмом короткозамыкателя, исключает возможность отключения отделителя до тех пор, пока не включится короткозамыкатель. Электромагниты отключения 1 и 9 служат для дистанционного включения короткозамыкателя и апробации работы отделителя.

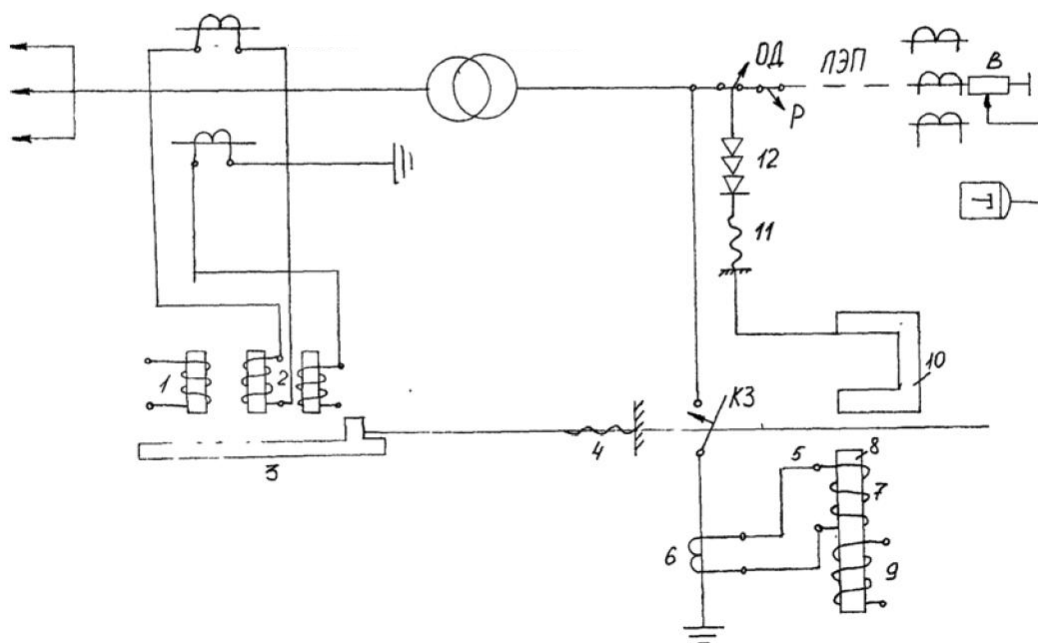
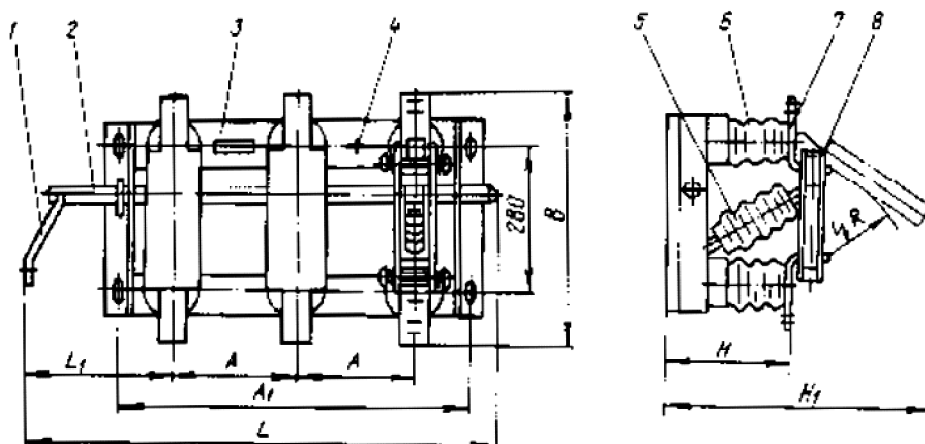


Рис. 5. Схема совместной работы короткозамыкателя и отделителя

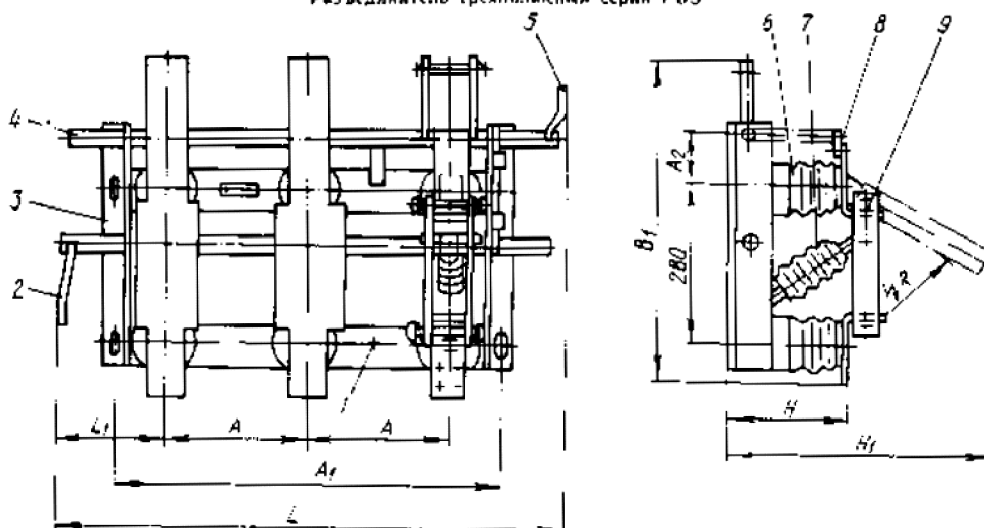


Разъединитель трехполюсный серии РВ



- 1 - рычаг
- 2 - вал
- 3 - рама
- 4 - болт заземления
- 5 - тяга изоляционная
- 6 - изолятор опорный
- 7 - контакт
- 8 - нож контактный

Разъединитель трехполюсный серии РВЗ



- 1 - болт заземления
- 2 - рычаг
- 3 - рама
- 4 - вал заземления
- 5 - рычаг
- 6 - изолятор опорный
- 7 - тяга изоляционная
- 8 - контакт
- 9 - нож контактный

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №**  
**«МНОГООБЪЕМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВМ-35»**

Цель работы:

Целью настоящей работы является изучение конструкции масляного выключателя типа ВМ-35, встроенных трансформаторов тока типа ТВ-35/10 и привода типа ПП-67.

Пояснения к работе.

Трехполюсные масляные выключатели серии ВМ-35 относятся к баковым многообъемным выключателям и предназначены для коммутации под нагрузкой электрических цепей трехфазного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 35 кВ и применяется как для внутренней, так и для внешней установок. Нормальная работа выключателя обеспечивается при установке его на высоте не более 1000 м над уровнем моря и температуре окружающей среды от +40 до - 40 С. Выключатели этой серии выполняются в открытых распределительных устройствах с приводом ШНР-35, а для внутренних установок с приводом ПП-67. Масляный выключатель типа ВМ-35 выпускается на номинальное напряжение 35 кВ, номинальный ток 600 А и номинальную мощность отключения при 35 кВ до 400 МВ·А.

#### Программа работы:

- 1) Изучить конструкцию масляного выключателя, его паспортные данные.
- 2) Осмотреть устройство выключателя.
- 3) Ознакомиться с процессом гашения дуги (дать описание).
- 4) Осмотреть привод:
  - механизм завода пружин,
  - механизм отключения,
  - встроенные реле.

#### Содержание отчета:

- 1) Описать принцип работы выключателя.
- 2) Вычертить эскиз выключателя в разрезе.
- 3) Письменно ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы:

- 1) Как устроено дугогашение в масляных выключателях?
- 2) Почему баки разделены по фазам выключателя?
- 3) Почему выключатель ВМ-35 относится к многообъемным выключателям?
- 4) Достоинства и недостатки многообъемных масляных выключателей,
- 5) Можно ли осуществить с данным приводом АПВ?
- 6) Что называется одно-, пяти- и десятисекундным током термической устойчивости и чему он равен?

### *ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № \_\_\_\_\_* **«ИЗУЧЕНИЕ МАЛООБЪЁМНОГО МАСЛЯНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ВМГ-133 С ПРИВОДОМ ППМ-10»**

#### Цель работы:

изучить конструкцию малообъемного масляного выключателя ВМГ-133 с приводом ППМ-10.

#### Пояснения к работе.

Малообъемные выключатели на напряжение до 35 кВ включительно, выполняются с одним или двумя разрывами цепи на фазу, а выключатели на напряжение 110 кВ и выше, с двумя и большим числом разрывов.

Каждый разрыв помещают в отдельном небольшом баке (горшке) выполненном из листовой стали или из изоляционного материала высокой механической и диэлектрической прочности. В этом же баке помещено дугогасительное устройство, выполненное, как правило, на принципе поперечного дутья.

Вследствие небольшого объема масла, оно быстро загрязняется и поэтому не может использоваться в качестве диэлектрика. В связи с этим в отключенном положении выключателя, конец подвижного контакта должен находиться выше уровня масла в баке с целью создания воздушного промежутка, для необходимой электрической прочности азрыва.

В малообъемных выключателях с металлическими баками бак соединяется с одним из контактов и изолируется от несущей рамы с помощью фарфоровых изоляторов.

Так как шины подводятся к болтовым зажимам, углубленным на дне бака, то бак выключателя находится под напряжением, но током не обтекаются.

Объем масла в баке должен быть достаточным для гашения дуги и охлаждения выходящих газов.

#### Программа выполнения работы:

- 1) Ознакомиться с паспортными данными выключателя,
- 2) Осмотреть устройство выключателя:
  - баки;
  - изоляторы проходные, подвижные контакты и фарфоровые тяги;
  - сварную раму с опорными изоляторами;
  - приводной вал с рычагами, отключающие пружины;
  - буферную пружину;
  - соединение вала выключателя с приводом;
  - зажимы для подвода тока к выключателю.
- 3) Осмотреть устройство бака выключателя:
  - гасительную камеру с продольными и поперечными каналами;
  - дополнительный резервуар со стальной камерой;
  - неподвижный контакт;
  - обратный шариковый клапан;
  - лабиринтный маслоотделитель.
- 4) Ознакомиться с процессом гашения дуги.
- 5) Осмотреть привод:
  - механизм отключения;
  - механизм завода пружины.
- 6) Произвести включение выключателя.
- 7) Познакомиться с расположением оборудования в ячейке:
  - шин,
  - разъединителей,
  - выключателя,
  - трансформаторов тока.

#### Содержание отчета:

Начертить эскиз масляного выключателя;

Описать конструкцию и принцип действия выключателя ВМГ-133;

Письменно ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы:

Из какого материала выполняются баки выключателей ВМГ-133 на номинальные токи до 600А и на 1000А?

Чем отличаются друг от друга выключатели ВМГ и ВМП?

Почему баки выключателей ВМГ-133 находятся под напряжением, но током не обтекаются?

Для чего используется масло в малообъемных выключателях?

Как устроены и работают дугогасительные камеры малообъемных масляных выключателей?

Для чего создается воздушный промежуток между контактами выключателя в отключенном положении?

Каково назначение карманов, расположенных в верхней части гасительной камеры?

Каковы положительные стороны малообъемных масляных выключателей по сравнению с многообъемными?

Где нашли наибольшее применение малообъемные масляные выключатели?

Что называется пятисекундным током термической устойчивости?

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № \_\_\_\_\_*  
**«ПРИВОДЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ»**

Цель работы:

изучить конструкцию приводов ПРБА и ПЭ-11, их механизмов включения и отключения.

Пояснения к работе:

ПРБА – привод ручной, блинкерный автоматический, может применяться при включающем усилии на рычаге не выше 300Н и работе включения не более 200 Дж с выключателем не выше 35 кВ в тех случаях, когда наибольшее мгновенное значение токов короткого замыкания в месте установки не превышает 30 кА. Привод состоит из механизма свободного расцепления и набора отключающих катушек для осуществления различных схем релейной защиты.

При включении выключателя его отключающие пружины сжимаются и стремятся его отключить. Но выключатель удерживается во включенном положении механизмом свободного расцепления и защелкой. Ручное отключение осуществляется поворотом рычага сверху вниз. При этом освобождается защелка и выключатель отключается. При автоматическом отключении рычаг остается на месте, а освобождение защелки производится ударником отключающей катушки. Автоматическое отключение выключателя сигнализируется горизонтальным положением блинкера. Привод снабжен сигнальными контактами типа КСА.

Электромагнитный привод изготавливается для автоматического дистанционного управления любыми выключателями. Особенности этого привода являются:

- тяговая характеристика, развиваемая электромагнитом, соответствует характеристике противодействующих сил выключателя;
- требует наличия мощного источника постоянного тока;
- в связи с большим потреблением тока необходимо выбирать кабель значительного сечения, чтобы избежать значительного падения напряжения;
- вследствие электромагнитных процессов, происходящих в приводе, время включения достигает 1 с.

Увеличение мощности приводов влечет за собой увеличение мощности аккумуляторных батарей и применения кабелей большого сечения. В связи с этим применение приводов этого типа наибольшее распространение получили для выключателей небольшой мощности.

Программа выполнения работы:

**I. ПРИВОД ПРБА.**

Ознакомиться с: конструкцией привода; механизмом свободного отключения с защелкой; блинкером; отключающими катушками привода.

**II. ПРИВОД ПЭ-11.**

Ознакомиться с конструкцией привода: механизмом включения и отключения; механизмом ручного отключения.

Ознакомиться со схемой включения.

Ознакомиться с конструкцией ключа управления.

Содержание отчета:

Дать описание области применения, устройства и принципа действия приводов.

Письменно ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

- 1) Какие приводы изготавливаются по роду используемой энергии, по роду установки?
- 2) Достоинства и недостатки приводов ПРБА и ПЭ-11?
- 3) С какими выключателями применяются данные приводы?
- 4) Какие требования применяются к приводам?
- 5) Применяются ли данные приводы в схемах АПВ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № \_\_\_\_\_  
«ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ»

Цель работы:

изучить работу трансформаторов напряжения, их конструкцию, а также работу контроля изоляции в сетях с изолированной нейтралью.

Пояснения к работе.

Трансформаторы напряжения применяются в электроустановках переменного тока напряжением 0,4 кВ и выше для питания параллельных катушек измерительных приборов и реле защиты.

Первичную обмотку трансформатора напряжения подключают параллельно к сети, а ко вторичной обмотке присоединяют параллельные катушки приборов и реле.

Преобразование напряжения трансформатором характеризует его номинальный коэффициент трансформации (обозначается на его щитке). Измерительные трансформаторы напряжения изготавливают с такими коэффициентами трансформации, при которых их номинальное вторичное напряжение равно 100 В или  $100/\sqrt{3}$ .

Принципиальная схема включения трансформаторов напряжения подобна схеме включения силовых трансформаторов, а рабочий режим напоминает режим холостого хода силовых трансформаторов.

Векторные диаграммы их несколько различны.

Для построения векторной диаграммы трансформатора напряжения необходимо знать; активные и индуктивные сопротивления обмоток, ток намагничивания. Целью построения векторной диаграммы является определение первичного напряжения по известной величине вторичного напряжения. Из векторной диаграммы видно, что для реального трансформатора напряжения  $U_1 \neq U_2$  и сдвинуты на угол, называемый *угловой погрешностью*.

Рассеяние магнитного потока и потери в сердечнике приводят к погрешности измерения:

*Угловой погрешностью* трансформатора напряжения называют угол  $\delta$  между векторами  $U_1$  и повернутому на  $180^\circ$  вектором вторичного напряжения -  $U_2$ .

Обе погрешности зависят от тока холостого хода. Для уменьшения этой величины сердечник трансформатора напряжения изготавливают с возможно меньшим магнитным сопротивлением. Погрешности увеличиваются с увеличением вторичной нагрузки  $S_2$ . Погрешности зависят от активного и индуктивного сопротивлений обмоток трансформатора напряжения, с уменьшением которых погрешности уменьшаются, С увеличением индуктивности вторичной обмотки (уменьшением  $\cos\varphi$ ) особенно значительно увеличивается угловая погрешность трансформатора напряжения и нормализуется при  $\cos\varphi = 0,8$ . Значительные колебания первичного напряжения также оказывают на величину погрешностей.

Трансформаторы напряжения, согласно ГОСТ, должны удовлетворять заданным классам точности при значениях изменения мощности и напряжения от  $0,25 \cdot (U_1/U_{1ном})^S$  до  $(U_1/U_{1ном}) \cdot S$ . Допустимые колебания напряжения  $U_1$  при этом должны находиться в пределах  $\pm 10\%$  от  $U_{1ном}$ .

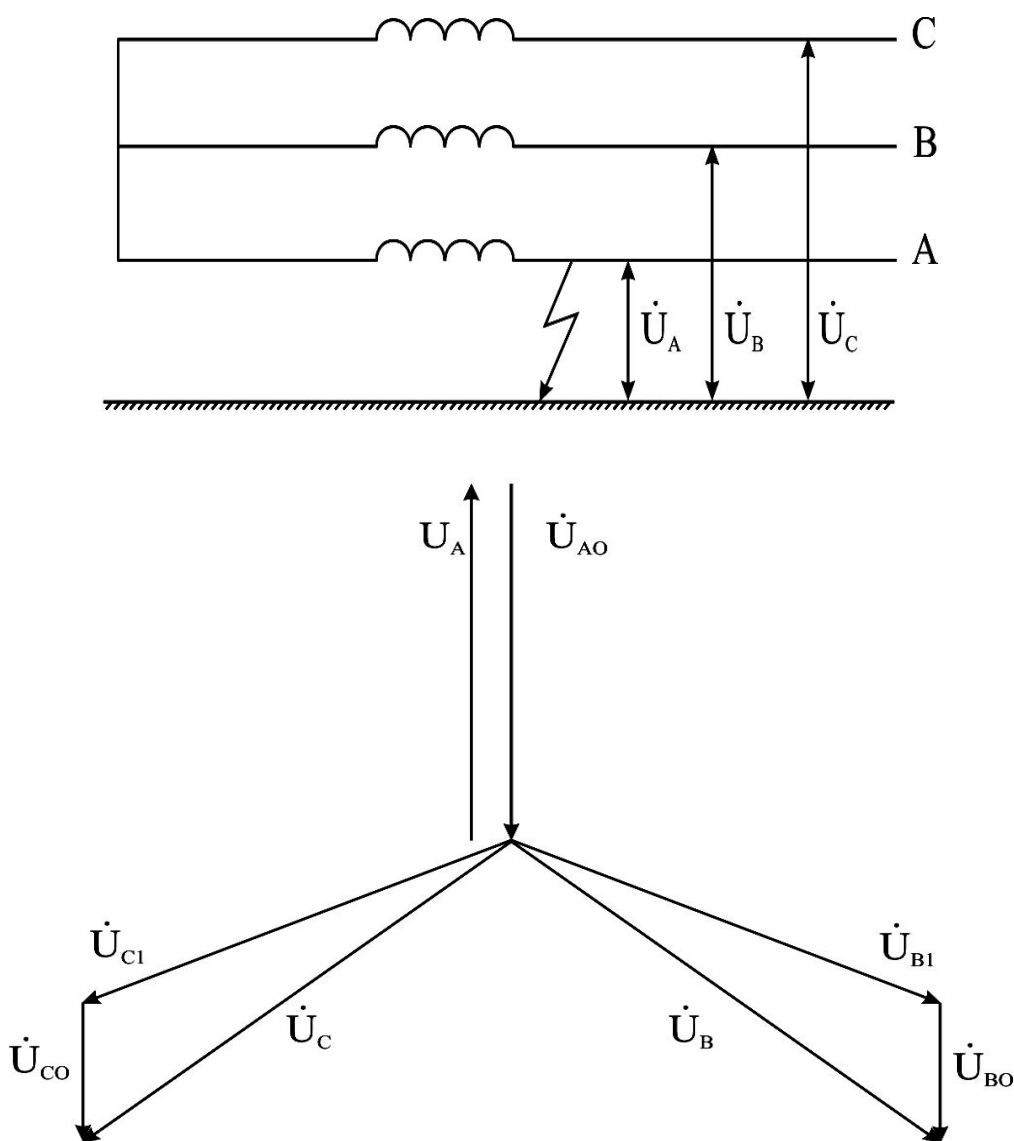
Погрешности по напряжению можно изменить при помощи коэффициента трансформации. Для этого уменьшают число витков первичной обмотки на величину:  $w_k = w_1(\Delta U/100)$ , где  $w_1$  и  $w_k$  - соответственно полное число первичной обмотки и число уменьшенных витков.

Коррекция угловой погрешности может быть выполнена у трехфазных трансформаторов напряжения с помощью дополнительных компенсационных обмоток, которые соединяются с основными обмотками по схеме «зигзаг».

Для каждого трансформатора напряжения установлена величина максимальной (предельной) мощности, длительно допускаемой по условию его нагрева. Использование трансформатора напряжения на максимальную мощность возможно только для питания сигнальных реле, отключающих катушек автоматов и других приборов реле, для правильной работы которых не имеет значения величина погрешности.

Контроль изоляции. Сети напряжением 6 – 35 кВ работают с изолированной нейтралью.

В нормальном режиме напряжение фаз относительно земли  $U_u$ ,  $U_v$  и  $U_w$  симметричны и равны фазному напряжению установки. При замыкании одной фазы на землю симметрия напряжений нарушается: возникают напряжения прямой ( $U_{u1}$ ,  $U_{v1}$ ,  $U_{w1}$ ), обратной ( $U_{u2}$ ,  $U_{v2}$ ,  $U_{w2}$ ) и нулевой ( $U_{u0}$ ,  $U_{v0}$ ,  $U_{w0}$ ) последовательностей. Так как нулевая точка сети не заземлена, сопротивление нулевой последовательности велико. Поэтому напряжение обратной последовательности близко к нулю, а напряжение нулевой последовательности близко к напряжению сети.



*Векторная диаграмма напряжений трансформатора напряжений*

Из векторной диаграммы видно, что напряжение фазы  $U$  равно нулю, а напряжения фаз  $V$  и  $W$  увеличиваются в  $\sqrt{3}$  раз против нормальной величины. Междофазные напряжения остаются неизменными как по величине, так и по фазе. Поэтому работа приемников энергии не нарушается.

Согласно ПУЭ (Правила устройства электроустановок) допускается работа сети с изолированной нейтралью, при замыкании одной фазы на землю в течение 2 часов.

Однофазное замыкание в сети с изолированной нейтралью не является коротким. Через точку замыкания протекает небольшой емкостной ток, величина которого зависит от напряжения уставки, частоты и емкости фаз сети относительно земли.

Контролирующее устройство выполняется с помощью 3-х вольтметров, присоединенных к сборным шинам через измерительный трансформатор напряжения (трехфазный пятистержневой или три однофазных). Первичную и вторичную обмотки соединяют «в звезду», нейтрали - заземляют. Заземление нейтрали первичной обмотки необходимо для измерения напряжения между фазой и землей, вторичной - в целях безопасности. Вольтметры включаются на фазное напряжение. При металлических однофазных замыканиях на землю в сети их показания меняются: показание вольтметра поврежденной фазы становится равным нулю, а показания двух других вольтметров увеличиваются в  $\sqrt{3}$  раз.

Звуковая сигнализация однофазного замыкания на землю осуществляется при помощи реле максимального напряжения, подключенного к дополнительной обмотке соединенного в разомкнутый треугольник. В нормальных условиях сумма э.д.с., индуцированных в трехфазных обмотках примерно равна нулю. Поэтому и напряжение, подведенное к реле, равно нулю. При однофазном замыкании напряжение на реле может увеличиваться до 100 В, реле срабатывает и подает звуковой сигнал.

#### Порядок выполнения работы:

Ознакомиться с конструкцией, паспортными данными и схемами соединений трансформаторов напряжения, представленных в лаборатории

#### Содержание отчета:

- 1) Нарисовать эскизы представленных в лаборатории трансформаторов напряжения.
- 2) Схемы включения трансформаторов напряжения (однофазных, трехфазных).
- 3) Письменно ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы:

- 1) Что такое контроль изоляции, в каких установках и для чего он применяется?
- 2) Почему установки до 35 кВ включительно работают с изолированной нейтралью, а на 110 кВ и выше с глухозаземленной нейтралью?
- 3) Что произойдет, если нейтраль первичной обмотки трансформатора напряжения типа НТМИ будет не заземлена?
- 4) Почему нельзя заземлять нейтраль первичной обмотки трансформатора напряжения типа НПКМ?
- 5) Чему равно напряжение на дополнительной обмотке НТМИ в нормальном режиме и в режиме однофазного замыкания на землю?
- 6) Каким способом можно уменьшить угловую погрешность?

## **6. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта «Проектирование электрической части подстанции электроснабжения»**

Курсовой проект по данной дисциплине выполняется в 8 семестре и предназначен для изучения вопросов проектирования электрической части подстанций электроснабжения.

В проекте рассматриваются вопросы расчета электрических нагрузок, выбора уровня рационального напряжения, выбора числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности, выбора главной электрической схемы подстанции, выбора числа и сечений питающих линий, расчета токов коротких замыканий, выбора и проверки основного электрического оборудования, выбора системы оперативного тока на подстанции, решения вопросов компенсации емкостных токов замыкания на землю и др.

### *Введение*

Курсовое проектирование имеет цель получить студентом расчетные и практические навыки по выбору электрической части подстанций электроснабжения, расчету режимов работы электрооборудования, выбору и проверке электрических аппаратов.

При выполнении проекта студент полностью отвечает за принятые решения, а задача руководителя сводится к ознакомлению студента с возможными вариантами решения, методами расчета, он направляет самостоятельную творческую работу студента.

### *Оформление проекта.*

Курсовой проект разрабатывается в соответствии с заданием и оформляется в виде расчетно-пояснительной и графической части (2 листа формата А-1).

Пояснительная записка включает: титульный лист, задание, введение, расчетно-пояснительная часть, список используемой литературы и оглавление.

Без наличия задания проект к проверке не принимается.

Чертежи, графики, схемы должны соответствовать требованиям ЕСКД. Пояснения расчетов должны быть предельно краткими и четкими. При многократном повторении одинаковых решений пример подробного решения приводится один раз, а результаты остальных решений сводятся в таблицу.

### *Указания по выполнению графической части проекта*

Графический материал должен содержать два листа чертежей формата А1:

№1 - принципиальная однолинейная схема коммутации проектируемой подстанции;

№2 – выполнить в соответствии с указанной литерой в таблице вариантов.

В таблице вариантов указывается условное обозначение второго листа графической части:

О - план и разрезы по ОРУ–220-110(35) кВ.

З - план и разрезы по закрытой части подстанции.

Т - чертёж установки силового трансформатора на открытой части подстанции.

Ш - конструкция шинпровода связи силового трансформатора 110/10 кВ со сборными шинами РУ напряжением 10 кВ.

К - фасад и разрез по камере КРУ–10 кВ отходящего присоединения.

### *Защита проекта*

Проект защищается на кафедре.

Студенту дается 10 минут для краткого сообщения о содержании курсового проекта и принятых в нем решениях, а затем он отвечает на вопросы членов комиссии.



## *Примерное содержание пояснительной записки*

Введение

Исходные данные

1. Расчет электрических нагрузок
2. Выбор рационального напряжения
3. Баланс реактивной мощности
4. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов
  - 4.1. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов
  - 4.2. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП
5. Выбор количества и сечений линий
  - 5.1. Выбор линий сети 6-20 кВ
  - 5.2. Выбор числа и сечений питающих линий
6. Выбор схемы и конструкции ГПП (ПГВ)
7. Разработка однолинейной схемы электроснабжения
8. Расчет токов коротких замыканий
  - 8.1. Расчет токов трехфазного КЗ
  - 8.2. Расчет токов однофазного КЗ
  - 8.3. Проверка выбранных сечений линий на воздействие токов КЗ
9. Выбор и проверка электрических аппаратов
  - 9.1. Выбор и проверка ВЧ аппаратуры
  - 9.2. Выбор и проверка выключателей
  - 9.3. Выбор и проверка разъединителей
  - 9.4. Выбор и проверка трансформаторов тока
  - 9.5. Выбор и проверка трансформаторов напряжения
  - 9.6. Выбор и проверка ОПН
  - 9.7. Выбор и проверка сборных шин
  - 9.8. Выбор и проверка изоляторов
  - 9.9. Выбор и проверка ячеек КРУ
10. Регулирование напряжения
11. Выбор системы оперативного тока
12. Выбор и проверка ТСН
13. Расчет емкостных токов замыкания на землю и выбор дугогасящих реакторов
14. Выбор и проверка аккумуляторных батарей
15. Релейная защита и автоматика
16. Определение себестоимости распределения электроэнергии

Заключение

Список литературы

### ***Введение***

Во введении должны быть использованы материалы постановлений Правительства Российской Федерации, приказов, руководящих указаний и документов Минтопэнерго РФ, нормативно-техническая документация РАО «ЕЭС России».

Во введении должны быть сформулированы основные задачи подъема уровня жизни населения и сферы его обслуживания, развития инфраструктуры предприятия и его производств на основе широкого внедрения электроэнергии в жизненные и технологические процессы на базе надежного и качественного электроснабжения.

Обосновываются цели и задачи и задачи разрабатываемого проекта.

### ***Исходные данные***

Обстоятельное изучение вопросов проектирования электрической части подстанций электроснабжения – сложная самостоятельная задача.

Для распространенных в среде промышленных предприятий электроприемников характеристики электрической нагрузки определены на основе многолетних экспериментальных исследований и приводятся в задании.

В данном разделе необходимо воспользоваться заданным преподавателем вариантом курсового проектирования.

#### ***Варианты 1.1÷1.20.***

Выбрать тип и мощность синхронных электродвигателей для насосов, имеющих производительность по  $1,65 \text{ м}^3/\text{с}$  каждый и напор –60 м.

Определить электрические нагрузки насосной станции водоснабжения промышленного предприятия, если известно, что один из установленных насосов резервный. Нагрузки электроосвещения и других потребителей приведены в таблице вариантов.

Составить схему электрических соединений подстанции, выбрать напряжение для питания двигателей и мощность понизительных трансформаторов, если известно, что насосная питает потребители первой категории и может получать электроэнергию от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора с напряжениями 220/110/35 кВ. Расстояния до подстанции энергосистемы приведены в таблице вариантов. Мощность питающей системы принять неограниченно большой.

Рассчитать токи короткого замыкания на шинах проектируемой подстанции насосной и выбрать основное оборудование подстанции (выключатели, отделители, короткозамыкатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения, проходные и опорные изоляторы, сборные шины) с проверкой на действие токов короткого замыкания.

Описать второй лист графической части проекта в соответствии с разрабатываемым вариантом.

#### ***Варианты II.1 ÷ II.20.***

Выбрать мощность и количество трансформаторов ГПП для питания потребителей электроэнергии I, II и III категорий.

Определить мощность компенсирующих устройств для компенсации реактивной мощности до  $\cos\varphi=0,95$  и предусмотреть их установку.

Потребителями электроэнергии при напряжении 380/220 В являются в основном асинхронные электродвигатели небольшой мощности, преобразовательные агрегаты, сварочные трансформаторы, освещение.

Нагрузки сконцентрированы в 10 пунктах равномерно, в радиусе около 800 м.

Приведенные в таблице вариантов нагрузки – потребляемые.

Число часов использования максимума нагрузок – 3800 час/г.

Выбрать напряжение и число линий питания перечисленных нагрузок, если известно, что питание возможно от энергосистемы, ближайшая подстанция которой удалена от потребителей на указанное в таблице вариантов расстояние.

На подстанции энергосистемы установлены трехобмоточные трансформаторы напряжением 220/110/35 кВ.

Мощность короткого замыкания на шинах 220 кВ подстанции составляет 6000 МВ·А.

Составить схему электроснабжения, исходя из указанных условий, и разработать однолинейную схему коммутации ГПП.

Рассчитать токи короткого замыкания на шинах ГПП и выбрать основное оборудование (выключатели, отделители, короткозамыкатели, трансформаторы тока и напряжения, разъединители, проходные и опорные изоляторы, сборные шины) с проверкой на действие токов короткого замыкания.

Описать второй лист графической части проекта в соответствии с таблицей вариантов.

### **Варианты III.1 ÷ III.20**

Выбрать и обосновать принципиальную электрическую схему ГПП промышленного предприятия в части РУ–110(35) кВ и 10(6) кВ.

Рассчитать, используя метод коэффициента спроса, требуемую мощность нагрузок, выбрать количество и мощность трансформаторов ГПП, предполагая, что нагрузки относятся к потребителям I, II и III категориям, причем нагрузки III категории составляют 30% общей нагрузки.

Установленные мощности нагрузок приведены в таблице вариантов.

Вычислить токи короткого замыкания и выбрать основное оборудование ГПП.

Питание осуществляется от подстанции энергосистемы и с шин ТЭЦ по самостоятельным линиям 110 кВ.

Генераторы ТЭЦ и энергосистемы снабжены АРВ.

Для ограничения токов короткого замыкания на вводах со стороны низшего напряжения трансформаторов ГПП должны быть предусмотрены, в случае необходимости, реакторы.

Потребители электроэнергии I, II и III категорий сосредоточены равномерно в 12 пунктах, находящихся в радиусе 500–800 м от ГПП.

#### **Примечания.**

3. Нагрузка присоединений к шинам ГПП должна приниматься в пределах 4500–6500 кВА.
4. При расчете электрических нагрузок использовать ПК.

### **Варианты IV.1 ÷ IV.20**

Выбрать и обосновать принципиальную электрическую схему ГПП в части РУ–110(35) и 10(6) кВ.

Рассчитать, используя метод коэффициента спроса, требуемую мощность силовых трансформаторов на ГПП.

Нагрузки предприятия относятся к потребителям I, II и III категорий, причем нагрузки III категории составляют 30% общей нагрузки.

Установленная мощность нагрузок приведена в таблице вариантов.

Потребители электроэнергии I, II и III категорий сосредоточены равномерно в цехах промышленного предприятия и питаются от 15 трансформаторных подстанций, находящихся на расстоянии не более 800 м от главной понизительной подстанции.

Питание ГПП осуществляется от РУ–110 кВ ТЭЦ самостоятельными линиями. Связь ТЭЦ с системой и ГРЭС показана на схеме.

Вычислить токи короткого замыкания, выбрать и проверить на действие токов короткого замыкания основное оборудование ГПП (короткозамыкатели, отделители, разъединители, выключатели, трансформаторы тока и напряжения, проходные и опорные изоляторы, сборные шины).

Число часов использования максимума нагрузок - 4200 час. Мощность питающей системы неограниченно большая.

Предусмотреть компенсацию реактивной мощности и выбрать места установки компенсирующих устройств и их мощность.

Необходимые исходные данные приведены в таблице вариантов.

Таблица вариантов 1.1÷1.10

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество насосов	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
К.п.д. насосов	0,68	0,7	0,72	0,74	0,75	0,76	0,68	0,7	0,72	0,74
Нагрузка освещения,(кВ)	25	35	45	55	65	30	40	50	60	70
Вентиляторы производственные и сан. гигиенические ,(кВт)	100	110	120	130	140	100	110	120	130	140
Маслонасосы, двигатель-генераторы,(кВт)	70	80	90	100	110	70	80	90	80	85
Крановое оборудование, (кВт)	160	170	180	190	200	160	170	180	190	200
Производственные механизмы при индивидуальном производстве (станки), (кВт)	140	150	160	170	180	140	150	160	170	180
Сварочные трансформаторы ,(кВт)	50	50	75	75	75	50	50	75	75	75
Мощность трансформаторов энергосистемы, МВА	100	120	160	100	125	160	100	125	160	100
Расстояние до п/ст энергосистемы (км)	15	25	35	20	30	30	15	25	35	20
Графика 2-й лист	О	3	Т	Ш	К	О	3	Т	Ш	К

Таблица вариантов 1.11÷1.20

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Количество насосов	7	9	6	8	10	6	7	8	9	10
К.п.д. насосов	0,75	0,76	0,68	0,69	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75
Нагрузка освещения,(кВ)	40	60	30	35	40	45	50	55	60	65
Вентиляторы производственные и сан. гигиенические ,(кВт)	110	130	110	120	130	140	150	160	170	180
Маслонасосы, двигатель-генераторы,(кВт)	90	95	100	110	90	95	100	110	120	130
Крановое оборудование ,(кВт)	180	190	180	190	200	210	220	230	240	250
Производственные механизмы (станки), (кВт)	160	170	150	160	180	150	160	170	180	190
Сварочные трансформаторы ,(кВт)	75	75	50	75	100	50	50	75	75	100
Мощность трансформаторов энергосистемы, МВА	125	160	125	125	160	125	125	125	160	160
Расстояние до п/ст энергосистемы (км)	30	30	15	20	25	20	25	30	35	40
Графика 2-й лист	О	3	Т	Ш	К	О	3	Т	Ш	К

Примечание: в таблице приведены установленные мощности нагрузок.

Таблица вариантов П.1÷П.10

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Данные вариантов										
Нагрузка в кВт										
I категории	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	4000	3500	3000
II категории	5500	6300	7000	7500	8000	8500	9000	8000	7500	7000
III категории	5000	5500	5000	5000	5500	5000	4500	5000	4500	4000
Коэффициент мощности	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,75	0,73	0,71
Расстояние до подстанции энергосистемы (км)	30	35	40	45	50	55	60	50	40	30
Мощность трансформаторов энергосистемы, МВА	100	100	125	160	200	160	125	100	200	160
Графика, 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Таблица вариантов П.11÷П.20

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Данные вариантов										
Нагрузка в кВт										
I категории	2500	2000	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
II категории	6500	6000	5000	5800	6000	6500	7000	7500	8000	8500
III категории	3500	5000	5500	5000	5500	5500	5000	4000	4800	4500
Коэф-нт мощности	0,69	0,67	0,65	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78
Расстояние до подстанции энергосистемы (км)	25	20	25	30	35	40	45	50	45	40
Мощность трансформаторов энергосистемы, МВ·А	125	100	100	100	100	125	125	160	160	200
Графика 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Примечание : на однолинейной схеме коммутации должны быть показаны все аппараты (выключатели, разъединители, силовые и измерительные трансформаторы, реакторы, предохранители), а также измерительные приборы вторичной коммутации; нагрузку присоединений к шинам ГПП следует принимать в пределах 4500–6500 кВА.

Таблица вариантов III.1÷III.10

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Данные вариантов										
ЛЭП–110 кВ, (км)	15	20	25	30	35	40	35	30	25	20
ЛЭП–110 кВ, (км)	12	14	16	18	20	22	23	21	21	19
ЛЭП–110 кВ, (км)	14	16	18	20	23	28	29	27	26	25
Генераторы Г-1, Г-2 (МВт)	60	80	100	150	160	160	150	100	80	60
-генераторов	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83
-генераторов	0,125	0,126	0,127	0,128	0,129	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125
Трансформаторы Т1,Т2 (МВА)	80	100	125	160	200	200	160	125	100	80
Вентиляторы производствен. Насосы, двигатель-генер.(кВт)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Станки цехов горячей обработки металлов при поточном производстве, (кВт)	5600	5800	6000	6300	6700	7100	6900	6600	6400	6200
То же при холодной обработке метал. (кВт)	4800	5100	5400	5700	5900	6400	6200	6000	5800	5600
Вентиляторы сангигиенические (кВт)	1700	1600	1500	1400	1300	1400	1500	1600	1700	1400
Механизмы непрерывного транспорта (кВт)	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3300	3100	2800	2800
Краны цеховые (кВт)	2550	2700	2800	3000	3300	3700	3500	3300	3200	3000
Печи плавильные (кВт)	4600	4900	3500	3700	4000	5700	5000	3800	3600	3400
Тр–ры сварочные (кВт)	1700	1800	1900	2000	2400	2600	2600	2400	2200	2000
Освещение (кВт)	300	330	360	390	420	440	440	420	400	380
Графика, 2–й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Таблица вариантов III.11÷III.20

Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Данные вариантов										
ЛЭП–110 кВ, (км)	15	20	25	30	35	40	35	30	25	25
ЛЭП–110 кВ, (км)	17	15	13	15	17	19	21	23	25	27
ЛЭП–110 кВ, (км)	23	21	19	17	15	16	18	20	22	24
Генераторы Г-1, Г-2 (МВт)	50	100	60	80	100	120	160	160	120	100
-генераторов	0,82	0,84	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,85	0,84
-генераторов	0,124	0,123	0,124	0,125	0,126	0,127	0,128	0,128	0,127	0,126
Трансформаторы Т1,Т2 (МВА)	63	125	80	100	125	160	200	200	160	125
Вентиляторы производствен. насосы, двигатель-генер.(кВт)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Станки цехов горячей обработки металлов, (кВт)	6000	5800	5600	6000	6400	6800	7200	7600	8000	7500
То же при холодной обработке метал. (кВт)	5300	5000	5000	5300	5600	5900	6200	6500	6800	7100
Вентиляторы санитарно-гигиенические (кВт)	1500	1600	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	1800
Механизмы непрерывного транспорта (кВт)	2700	2600	2400	2550	2700	2850	3000	3150	3300	3000
Краны цеховые (кВт)	2800	2600	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3100
Печи плавильные (кВт)	3100	4800	3600	3600	3700	3800	3900	4000	4200	4300
Тр–ры сварочные (кВт)	1900	1800	1900	1800	1700	1800	1900	2000	2100	2200
Освещение (кВт)	360	340	300	320	340	360	380	400	420	420
Графика, 2–й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

Таблица вариантов IV.1÷IV.10

Данные вариантов / Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЛЭП–110 кВ, $l_1$ (км)	20	25	30	35	40	45	77	40	35	30
ЛЭП–110 кВ, $l_2$ (км)	10	15	17	20	18	26	28	22	20	18
ЛЭП–110 кВ, $l_3$ (км)	20	25	27	30	28	28	28	28	26	24
ЛЭП–110 кВ, $l_4$ (км)	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10
Генераторы Г-1, Г-2 (МВА)	160	200	300	320	500	160	200	300	320	500
Генераторы Г-3, Г-4 (МВт)	63	50	60	100	150	50	60	63	100	150
cosφ ген–ров Г-3, Г-4	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,84	0,84	0,85
cosφ ген–ров Г-1, Г-2	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,87	0,86	0,85	0,84
Тр–ры Т-1, Т-2 (МВА)	200	250	320	320	630	200	250	320	320	630
Тр–ры Т-1, Т-2 (МВА)	80	63	80	125	160	63	80	80	125	160
Цехи горячей обработки металлов (кВт)	7500	7000	6500	6000	5500	5000	5500	6000	6500	7000
То же при холодной обработке металлов (кВт)	6000	6200	6400	6600	6800	7000	7000	6800	6600	6400
Вентиляторы, производственные насосы, двиг.-генер., трансмиссии (кВт)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	15000	11000	12000	13000
Производственные механизмы с повторно-кратковременным режимом (кВт)	2300	2000	1500	1500	1500	2500	2000	1500	1500	2000
Краны цеховые (кВт)	2550	2700	2800	3000	3300	3700	3500	3900	3200	3000
Приемники непрерывного транспорта и обработки земли в литейных цехах	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3600	3400	3200	3000
Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы (кВт)	1700	1900	2100	2300	2500	2700	1700	1900	2100	2300
Печи плавильные (кВт)	4100	4300	4500	4700	4900	5100	5100	4900	4700	4500
Сварочные машины точечной и шовной сварки (кВт)	1000	900	800	700	600	500	500	600	700	800
Освещение (кВт)	350	370	390	410	430	450	440	420	400	380
Графика, 2–й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К



Таблица вариантов IV.1÷IV.10

Данные вариантов / Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ЛЭП-110 кВ, $I_1$ (км)	25	20	25	30	35	40	45	50	45	40
ЛЭП-110 кВ, $I_2$ (км)	17	15	12	14	16	18	20	22	24	26
ЛЭП-110 кВ, $I_3$ (км)	23	21	28	26	24	22	22	18	16	14
ЛЭП-110 кВ, $I_4$ (км)	11	12	7	8	9	10	11	12	13	14
Генераторы Г-1, Г-2 (МВА)	200	300	320	500	160	200	300	32	500	320
Генераторы Г-3, Г-4 (МВт)	60	63	50	60	100	125	160	125	100	63
cosφ ген-ров Г-1, Г-2	0,83	0,82	0,82	0,84	0,84	0,85	0,86	0,85	0,84	0,83
cosφ ген-ров Г-3, Г-4	0,86	0,87	0,82	0,83	0,86	0,85	0,83	0,81	0,84	0,82
Тр-ры Т-1, Т-2 (МВА)	250	320	200	250	320	320	630	630	320	320
Тр-ры Т-1, Т-2 (МВА)	80	80	63	80	80	125	125	160	160	125
Цехи горячей обработки металлов (кВт)	7500	8000	5500	6000	6500	7000	7500	800	8500	8000
То же при холодной обработке металлов (кВт)	6200	6000	6000	6300	6600	6900	7200	7500	7800	7500
вентиляторы, производственные насосы, двигатель-генераторы, трансмиссии (кВт)	10000	11000	14000	15000	12000	13000	14000	15000	16000	17000
Производственные механизмы с повторно-кратковременным режимом (кВт)	2500	2500	1500	1600	1700	1800	1900	200	2200	2400
Краны цеховые (кВт)	2800	2600	2500	2600	2750	2850	3000	3200	3400	3400
Приемники непрерывного транспорта и обработки земли в литейных цехах	2800	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400
Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы (кВт)	2500	2700	1700	1800	1900	2000	2200	2400	2600	2800
Печи плавильные (кВт)	4300	4100	4300	4500	4700	4900	5100	5300	5500	5200
Сварочные машины точечной и шовной сварки (кВт)	900	1000	1100	1000	900	800	700	600	500	600
Освещение (кВт)	360	340	350	360	370	380	390	400	4200	440
Графика, 2-й лист	О	З	Т	Ш	К	О	З	Т	Ш	К

### ***Расчетная часть***

Последовательность выполнения курсового проекта с подробным рассмотрением вопросов проектирования электрической части подстанции приведена в учебном пособии Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Электрическая часть станций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.

### ***Заключение***

В заключение приводится краткая характеристика разработанной подстанции, ее схемы и конструкции, выбранного оборудования с точки зрения надежности и эффективности электроснабжения потребителей качественной электроэнергией.

Дается оценка экономичности принятых решений и приводятся основные технико-экономические показатели и характеристики курсового проекта.

### ***Графическая часть курсового проекта***

Курсовой проект разрабатывается в соответствии с заданием и сопровождается графической частью (2 листа формата А-1). Чертежи, графики, схемы должны соответствовать требованиям ЕСКД.

Графическая часть в соответствии с заданием преподавателя может быть представлена:

1 лист – Однолинейная электрическая схема подстанции или схема электроснабжения;

2 лист – согласно задания может включать в себя: план и разрезы по ОРУ–220-110(35) кВ; план и разрезы по закрытой части подстанции; чертёж установки силового трансформатора на открытой части подстанции; конструкция шинпровода связи силового трансформатора 110/10 кВ со сборными шинами РУ напряжением 10 кВ; фасад и разрез по камере КРУ–10 кВ отходящего присоединения.

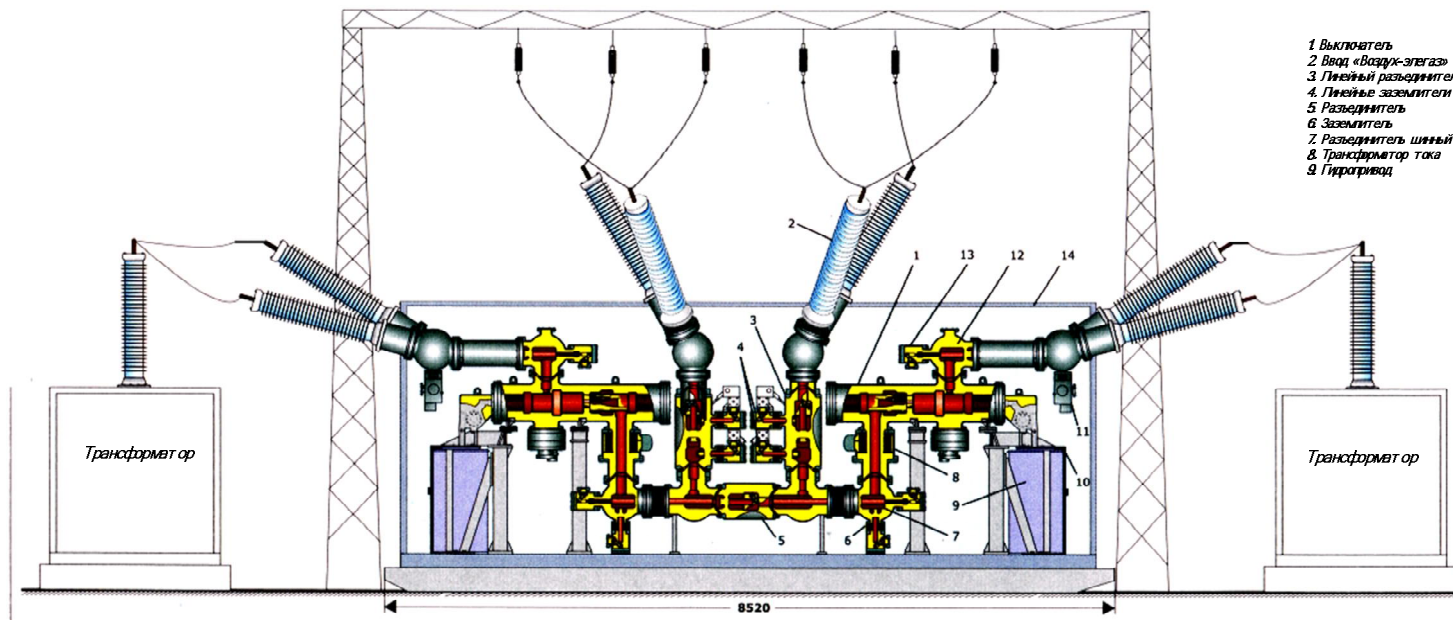
При выполнении расчетной и графической части проекта представляет значительный интерес опыт зарубежных стран, где рассматриваемые подстанции глубокого ввода имеют широкое применение. При их выполнении отмечается все большее использование оборудования с элегазом, всемерное упрощение распределительных устройств, вплоть до глухого присоединения кабельных линий высокого напряжения к трансформаторам и непосредственным вводом в кожух последних. В некоторых случаях градостроительные соображения вынуждают рассматриваемые подстанции размещать под землей. Такое решение встречается в практике зарубежных стран из-за высокой стоимости земельных участков, особенно в крупных городах.

В последние годы в РФ также освоен выпуск специальных герметичных распределительных устройств, в качестве изолирующей и дугогасящей среды для которых используется элегаз (шестифтористая сера). Опыт зарубежных стран, где оборудование с элегазовым наполнением получило широкое распространение, показывает, что при наличии такого оборудования габариты подстанций сокращаются в несколько раз.

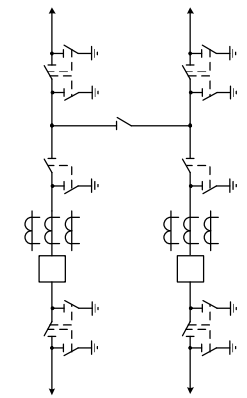
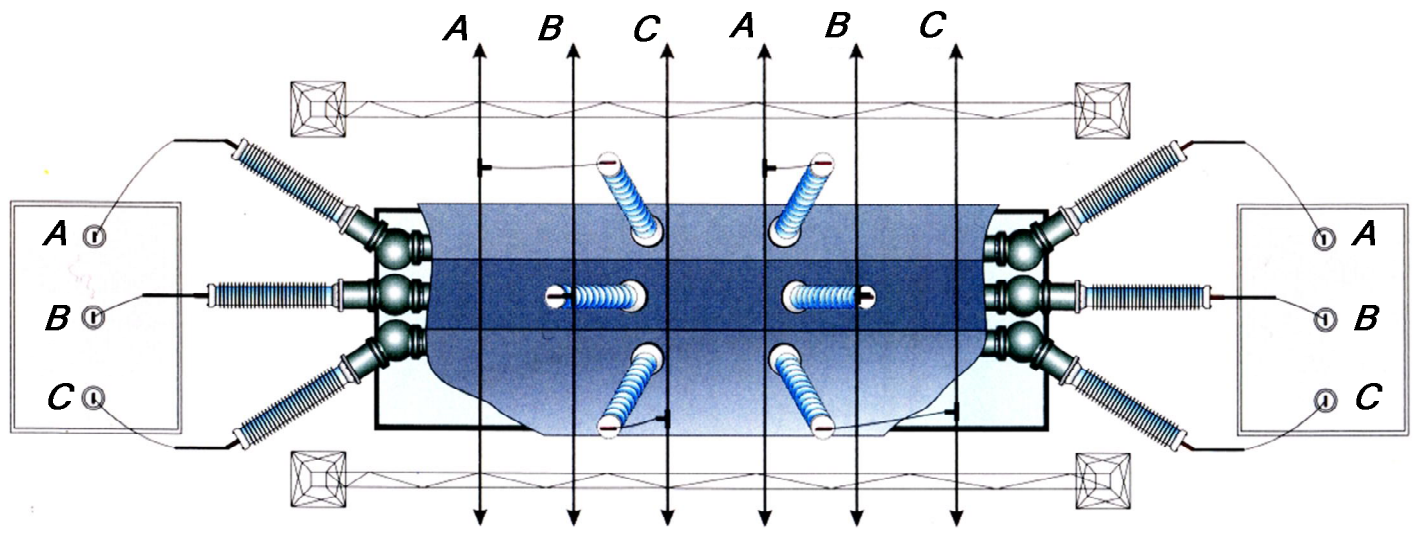
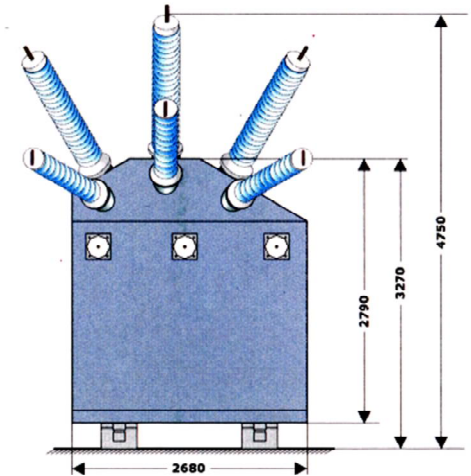
Фирма АВВ в настоящее время выпускает элегазовые КРУЭ для заводских и городских подстанций на основе ячеек PASS MO.

Заводы РФ в настоящее время освоили производство элегазовых ячеек КРУЭ (марка ЯЭ-110 (220) и ЯГК 110), что не исключает применение ячеек КРУЭ при компоновке ПС глубокого ввода, РУ 110—220 кВ которые, как указано, выполняются по упрощенным схемам.

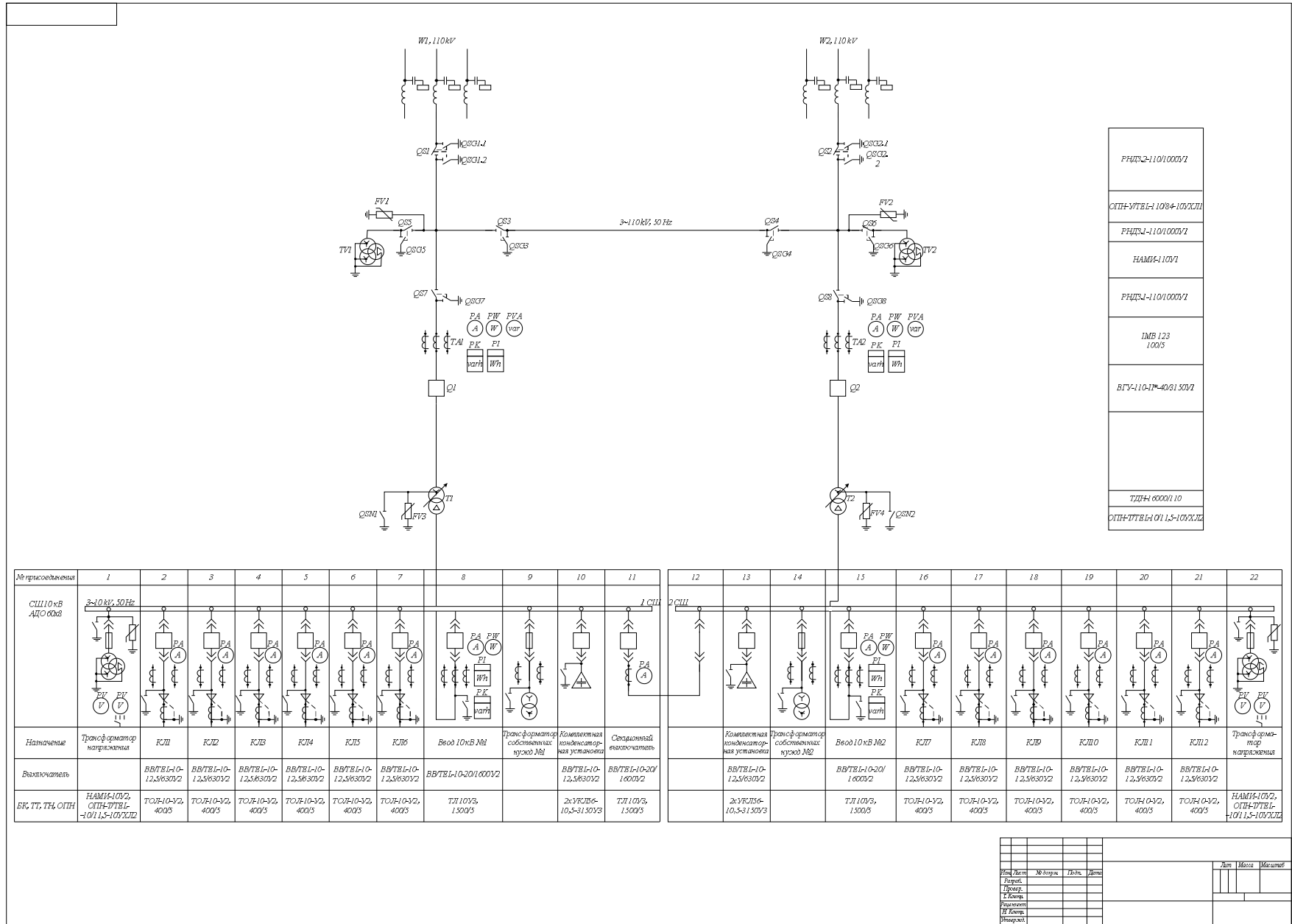
В качестве примера приведены несколько листов графической части курсового проекта.

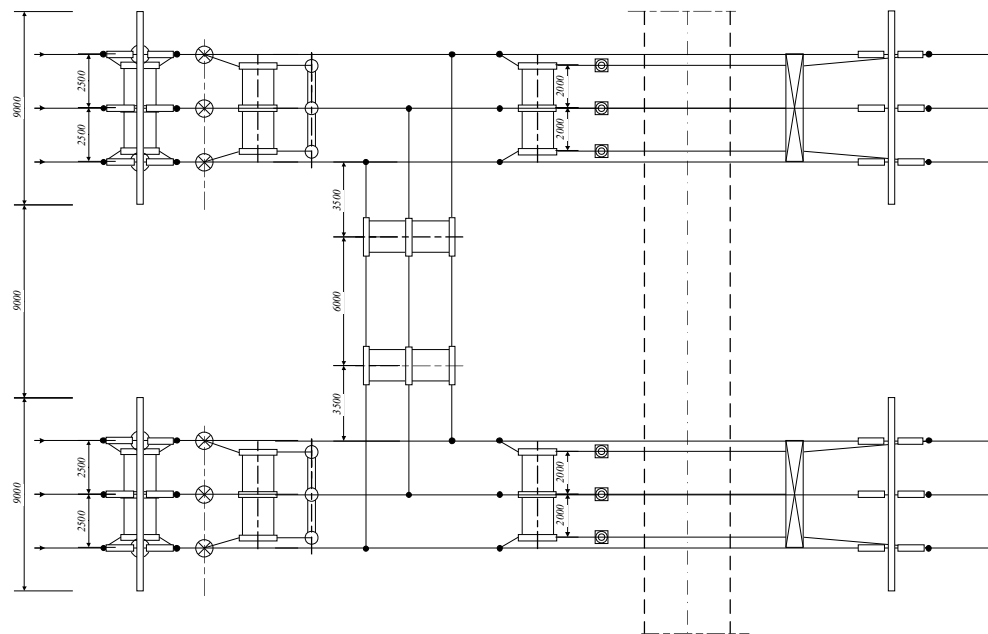
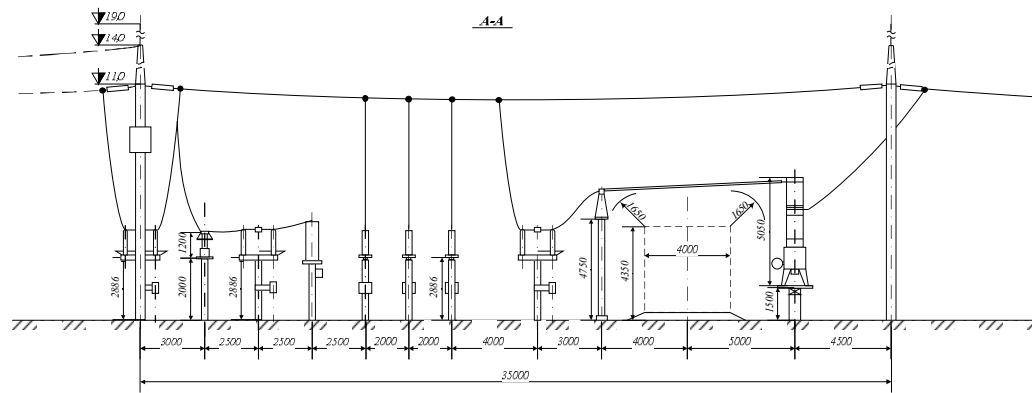


- 1. Выключатель
- 2. Ввод «Воздух-элегаз»
- 3. Линейный разъединитель
- 4. Линейные заземлители
- 5. Разъединитель
- 6. Заземлитель
- 7. Разъединитель шинный
- 8. Трансформатор тока
- 9. Гидропривод
- 10. Шкафопартийный
- 11. Заземлитель шинный
- 12. Элегаз
- 13. Разъединитель шинный
- 14. Контейнер

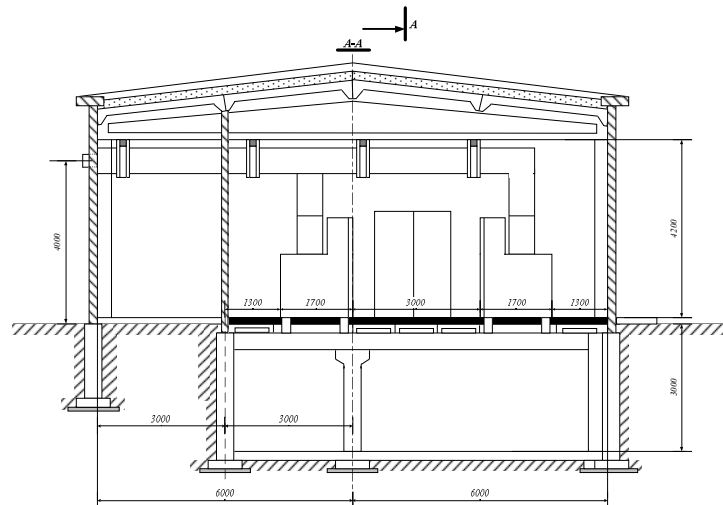
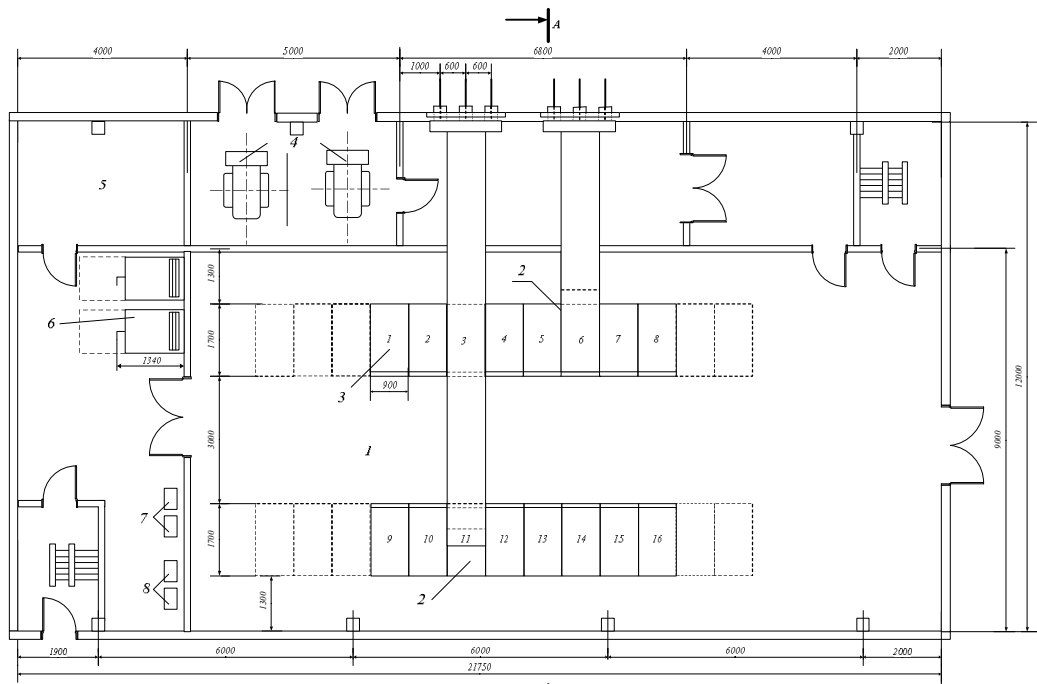


Ячейка ЯГК-110 исполнения «Контейнер»





Вид/Лист	№ докум.	Элект.	Лист	Листов	Лист	Масштаб	Дата
Элект.						1:100	
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							



Где Сюдь	Наименования	Ед.к.	Примечания
1	Распределительное устройство 10кВ	1	
2	Ячейки трансформаторного ввода 10кВ	2	
3	Щкаф КРУ 10кВ с выключателем ВВТБ-10-21063102	1/6	
4	Трансформатор собственных нужд ТМ-40/10	2	
5	Вспомогательное помещение кабельного подвала	2	
6	Щкаф оперативного тока ШРОТ	2	
7	Блок питания типа БПРУ	2	
8	Щит заземл.	2	
Изд./Доп.	№ заказа	Длина	Дата
Разработ.			
Проект.			
Исполнит.			
ИЗ			
Упр.			
		Доп.	Монтаж
		Доп.	Доп.
			1:50

## 7. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа студента включает в себя изучение лекционного материала и дополнительной литературы по дисциплине при подготовке к практическим занятиям, а также задания, закрепляющие изученный материал и являющиеся основой для выполнения курсового проекта.

В качестве заданий на самостоятельную работу студент получает вариант комплексного задания по разработке главной понизительной подстанции электроснабжения промышленного предприятия (ПГВ, ГПП) и в домашних условиях подготавливает последовательную разработку предложенных там вопросов.

Контроль степени усвояемости материала осуществляется еженедельно в ходе выполнения курсового проектирования.

При этом каждый студент имеет возможность реализации полученных знаний в учебных программных комплексах, разработанных кафедрой энергетики: "ZAPUSK", "CURSE2", "KRNET", "Механическая часть ВЛ", "Расчет электрической сети", а также программных комплексах других ВУЗов, ориентированных на преподавателей, студентов и людей, занимающихся самоподготовкой в области электроснабжения, таких как Elsnab 8 версия - "Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей" и ACPE – Account of the course project on electro supply - Программа для автоматизации расчетов курсового проекта по электроснабжению сельских населенных пунктов.

Эти программы защищены авторскими правами, сертифицированы и являются бесплатными при использовании в некоммерческих целях.

Также, в ряде случаев, целесообразно использование промышленных программно-вычислительных комплексов, таких как: ПВК "SDO-6", "TK3", "RASTR" и пакета автоматизации математических расчетов «MathCad».

Дополнительный контроль усвоения материала осуществляется на каждой лекции, для этого предусмотрен 5 минутный опрос студентов по ранее (и самостоятельно) изученному теоретическому материалу.

На контрольных точках курсового проектирования предусмотрена сдача отдельных частей теоретического материала и комплексного задания.

Объем и формы контроля самостоятельной работы отличаются для студентов дневной и заочной (в том числе сокращенной) форм обучения и приведены ниже в таблице графика выполнения самостоятельной работы студентов.

Задания для самостоятельной работы студентов.

В процессе изучения дисциплины (после каждого практического занятия) студенты последовательно разрабатывают предложенные в задании вопросы и защищают их согласно графику, указанному в учебно-методической (технологической) карте дисциплины. На последнем практическом занятии студенты защищают комплексное задание целиком, с его анализом и оценкой принятых инженерных решений.

## График самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые нагляд. и метод. пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семин.)	лабор.		содерж.	часы	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	Формирование схем электрических соединений ТЭЦ в связи с режимами их работы в составе электроэнергетических систем и как источников питания систем электроснабжения.	1	1	Электрическая часть станций и подстанций./ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др			блиц-опрос
2	1	Выбор основного электрооборудования. Конструкции и схемы распределительных устройств.			Справочник по проектированию подстанций 35 - 500 кВ/ под ред. С.С. Рокотяна, Я.С. Самойлова	Расчет электрических нагрузок подстанции	1	блиц-опрос
3	1	Режимы работы ТЭЦ	2	1	Электрическая часть станций и подстанций./ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др			блиц-опрос
4	2	Принципы выбора схем подстанций. Установка заземляющих ножей и оперативные блокировки.			Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов			контрольная работа
5	2	Выбор схем понижающих подстанций 35-220/6-20 кВ, питающих потребителей системы электроснабжения.  Схемы ГПП и ПГВ 35-220 кВ.	3	2	Справочник по проектированию подстанций 35 - 500 кВ/ под ред. С.С. Рокотяна, Я.С. Самойлова	Выбор числа и мощности трансформаторов	1	блиц-опрос
6	2	Присоединение РУ напряжением 6-10 кВ к понижающим трансформаторам. Схемы с двумя системами шин. Схемы РП напряжением выше 1 кВ. Схемы ТП 6-10/0,4 кВ. Схемы РП напряжением до 1 кВ.			Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов			блиц-опрос
7	4	Выбор и проверка выключателей. Выбор и проверка предохранителей. Выбор и проверка разъединителей. Выбор и проверка трансформаторов напряжения. Выбор и проверка автоматических выключателей. Выбор и проверка трансформаторов тока.	4	2	Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций.	Выбор схемы и конструкции и ПС	1	защита индивидуальных домашних заданий
8	4	Выбор и проверка токоограничивающих реакторов.			Справочник по проектированию электросетей и электрооборудования/ под ред. Ю.Г. Барыбина			блиц-опрос
9	4	Выбор и проверка шин и изоляторов.	5	3	Справочник по проектированию электросетей и электрооборудования/ под ред. Ю.Г. Барыбина	Расчет токов КЗ	1	контрольная работа
10	4	Выбор и проверка кабелей. Выбор и проверка проводов. Выбор и проверка кабелей и проводов до 1 кВ с учетом выбора защиты.			Лазерные пленки к проектоскопу по теме «Конструкция ВЛ и КЛВ» -18 штук			блиц-опрос
11	5	Конструктивное исполнение РУ напряжением 0,4 кВ. Конструктивное исполнение РУ напряжением 6-10 кВ.	6	3	Презентации, слайды, технические характеристик, каталоги по электрическому оборудованию, типовые проекты ТП и РП. ОАО «ПО Элтехника» (Санкт-Петербург), ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», ОАО «Ангарский электроаппаратный завод» - 3 компакт диска	Выбор электрических аппаратов	1	блиц-опрос



1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	5	Конструктивное исполнение РУ напряжением 35-220 кВ.			Презентации, слайды, технические характеристики, каталоги по электрическому оборудованию, типовые проекты ТП и РП. ОАО «ПО Элтехника» (Санкт-Петербург), ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», ОАО «Ангарский электроаппаратный завод» - 3 компакт диска	Выбор электрических аппаратов	1	блиц-опрос
13	5	Комплектные РУ напряжением до 1 кВ. Комплектные РУ напряжением выше 1 кВ	7	4	Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию. «Районная электрическая сеть»	Выбор и проверка токоведущих частей	1	защита индивидуальных домашних заданий
14	6	Режимы работы электрооборудования и обеспечение нормативного качества напряжения.			Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах			контрольная работа
15	6	Баланс активной и реактивной мощности в питающих электроэнергетических системах. Выбор мощности и размещение компенсирующих устройств.	8	4	Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах			защита индивидуальных домашних заданий
16	6	Основы регулирования частоты. Методы и средства регулирования напряжения.			Электротехнический справочник: В 4т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии	Комплексное задание	1	комплексное задание

Выполнение самостоятельной работы предусматривает использование следующих методических разработок:

1. Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию «Районная электрическая сеть» - Благовещенск, 1993.
2. Ю.В. Мясоедов, Н.В.Савина, А.Н.Козлов. Автоматизация в курсовом и дипломном проектировании. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2000.
3. Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 1999.
4. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2002.
5. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева «Электрическая часть станций и подстанций». Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.
6. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Электропитающие системы и сети».

В данных методических разработках представлены все необходимые методические указания в области проектирования и компоновки электрической части подстанций электроснабжения и даны проверочные задания по дисциплине. Представленная в этих разработках последовательность реализации вопросов, посвященных рассмотрению проектируемой подстанции электроснабжения, а также приведенные примеры ее расчетов соответствуют стадийности выполнения курсового проекта и комплексного задания по дисциплине.

Следует помнить о том, что при изучении отдельных теоретических вопросов курса используются знания, полученные в ранее изученных дисциплинах.

Примеры заданий на самостоятельную работу приведены в разделе 8.

## Тесты для самопроверки по разделу «Внешняя изоляция электроустановок»

**1. Какие параметры влияют на разрядные напряжения воздушных промежутков?**

Возможные ответы:

- 1) напряжённость электрического поля;
- 2) давление и температура;
- 3) температура и абсолютная влажность;
- 4) давление, температура и абсолютная влажность.

**2. Какие требования предъявляются к диэлектрикам?**

Возможные ответы:

- 1) низкая стоимость;
- 2) механическая и электрическая прочность;
- 3) негигроскопичность и трекингоустойкость;
- 4) 1) и 2); 5) 2) и 3);

**3. От чего может быть нарушена электрическая прочность изолятора?**

Возможные ответы:

- 1) пробой изолятора высоким напряжением;
- 2) развитие разряда вдоль поверхности изолятора;
- 3) загрязнением изолятора;
- 4) 2) и 3); 5) 1), 2) и 3).

**4. Толщина стенки фарфорового диэлектрика 1,5 мм. С увеличением толщины стенки его электрическая прочность в однородном электрическом поле:**

Возможные ответы:

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется.

**5. От чего зависит механическая прочность фарфоровых и стеклянных изоляторов?**

Возможные ответы:

- 1) от вида нагрузки;
- 2) от срока эксплуатации;
- 3) от типа изолятора.

**6. Изоляторы из фарфора обладают улучшенной механической прочностью:**

- 1) при сжатии;
- 2) при изгибе;
- 3) при растяжении.

**7. Чем достигается механическая прочность полимерных изоляторов?**

Возможные ответы:

- 1) армирование стеклопластиком;
- 2) добавка второпласта.

**8. Для чего служат рёбра у опорно-стержневых изоляторов?**

Возможные ответы:

- 1) для увеличения пути утечки (повышение разрядного напряжения);
- 2) для уменьшения пути утечки (уменьшения разрядного напряжения).

**9. Чему равно число изоляторов в гирлянде подвесных изоляторов в ЛЭП 110 кВ?**

Возможные ответы:

- 1) 3 шт.;
- 2) 6-7 шт.;
- 3) 7-9 шт.;
- 4) 12-14 шт.

**10. Назовите основной недостаток подвесных стержневых изоляторов.**

Возможные ответы:

- 1) высокая стоимость;
- 2) низкая механическая прочность;
- 3) низкая электрическая прочность.

**11. Расшифруйте марку изолятора: ПНШ-35/3000-2000.**

Возможные ответы:

- 1) подвесной, наружный, шинный, на напряжение 35 кВ, номинальный ток 3 кА, год выпуска – 2000;
- 2) проходной, наружный, шинный, на напряжение 35 кВ, номинальный ток 3 кА, механическая прочность – 20 кН;
- 3) полимерный, наружный, штыревой, на напряжение 35 кВ, номинальный ток 3 кА, год выпуска – 2000.

## **Тесты для самопроверки по разделу «Грозовые перенапряжения и молниезащита»**

**1. Что является источником грозовых перенапряжений:**

Варианты ответа: 1) короткое замыкание; 2) молния; 3) перегрузка.

**2. Чем осуществляется защита от прямых ударов молнии?**

Варианты ответа: 1) антенной; 2) трубчатым разрядником; 3) молниеотводом.

**3. Какие элементы электрической сети защищают стержневые молниеотводы?**

Варианты ответа:

1) линии электропередачи; 2) открытые распределительные устройства; 3) 1) и 2).

**4. Какие элементы электрической сети защищают тросовые молниеотводы?**

Варианты ответа:

1) комплектные трансформаторные подстанции; 2) комплектные РУ;

3) линии электропередачи; 4) открытые распределительные устройства; 5) 1) и 2).

**5. Какую величину необходимо определить для расчёта заземляющего устройства?**

Варианты ответа:

1) сопротивление вертикального стержня; 2) сопротивление горизонтальных полос;

3) сопротивление железобетонного фундамента; 4) 1) и 2); 5) 2) и 3); 6) 1), 2) и 3).

**6. Какую функцию выполняют разрядники?**

Варианты ответа: 1) защитную; 2) коммутационную; 3) сигнальную.

**7. За счёт чего происходит гашение дуги в трубчатом разряднике?**

Варианты ответа:

1) фильтрации высших гармонических составляющих импульсного напряжения;

2) минимального сопротивления заземляющего устройства; 3) газогенерирования.

**8. Расшифровать аббревиатуру: РТВ-35-2/10У1.**

Варианты ответа:

1) разрядник трубчатый, винипластовый, 35кВ, нижний предел тока отключения - 2кА, верхний предел тока отключения 10кА, для умеренного климата, на открытом воздухе;

2) разрядник вентильный, на 35 кВ, номинальный ток – до 200 А, ток отключения – 10 кА, тропического исполнения, унифицированный, для закрытых помещений;

3) разрядник трубчатый, внутренней установки, рабочее напряжение 35 кВ, ток отключения – от 2 до 10 кА, унифицированный, 1-й категории.

**9. Что является основным элементом вентильного разрядника?**

Варианты ответа:

1) многократный искровой промежуток и соединённый с ним последовательно резистор с нелинейной вольтамперной характеристикой;

2) многократный искровой промежуток и соединённый с ним параллельно резистор с нелинейной вольтамперной характеристикой;

3) дугогасительная камера.

**10. Для чего предназначен вентильный разрядник?**

Варианты ответа:

1) защиты линий электропередачи от токов короткого замыкания;

2) защиты изоляции электрооборудования станций и подстанций от перегрузок;

3) защиты изоляции электрооборудования станций и подстанций от перенапряжений;

**11. Что называется напряжением гашения?**

Варианты ответа:

1) наибольшее напряжение промышленной частоты; 2) наименьшее импульсное напряжение; 3) наибольшее импульсное напряжение.

**12. Расшифровать аббревиатуру: РВД-10Т1.**

Варианты ответа:

1) разрядник вентильный, с растягивающейся дугой, на 10 кВ, тропического исполнения, 1 категории размещения;

2) разрядник вентильный, радиальный, для защиты электродвигателей, номинальное напряжение 10 кВ, термостойкий, для работы на открытом воздухе.

## **Тесты для самопроверки по разделу «Комплектные распределительные устройства»**

### **1. Расшифруйте аббревиатуру КРУ.**

Варианты: 1) комплексные разрядные установки; 2) комплекс ремонтных устройств; 3) комплектное распределительное устройство.

### **2. Для чего предназначены КРУ?**

Варианты: 1) приёма и преобразования электрической энергии; 2) преобразования электрической энергии; 3) приёма и распределения электрической энергии; 4) преобразования и распределения электрической энергии.

### **3. В каких КРУ устанавливаются маломасляные выключатели?**

Варианты ответа: 1) КРУ внутренней установки; 2) КРУ наружной установки.

### **4. Какую установку имеют шкафы КРУ серии К-63?**

Варианты ответа: 1) внутреннюю; 2) наружную.

### **5. Сколько отсеков имеет шкаф КРУН серии К-VI-U1?**

Варианты ответа: 1) 2; 2) 3; 3) 5.

### **6. Какой выключатель может располагаться в отсеке выкатной тележки шкафа КРУН серии К-VI-U1?**

Варианты ответа: 1) АП-50; 2) ВМП-10 К; 3) ВМ-35; 4) ВС-10-63-2,5.

### **7. Сколько отсеков входит в состав ячейки КСО-6(10)-Э1?**

Варианты ответа: 1) 2; 2) 3; 3) 5.

### **8. Какой выключатель используется в ячейке КСО-6(10)-Э1?**

Варианты: 1) многообъёмный масляный; 2) вакуумный; 3) маломасляный; 4) элегазовый.

## **Тесты для самопроверки по разделу «Комплектные трансформаторные подстанции»**

### **1. Каково назначение КТП?**

Возможные ответы:

- 1) приём и распределение электрической энергии;
- 2) приём и преобразование электрической энергии;
- 3) приём и распределение электрической энергии;
- 4) приём, преобразование и распределение электрической энергии.

### **2. Назовите классы номинальных мощностей КТП.**

Возможные ответы:

- 1) 16,25,100,250,630 кВА; 2) 63,160,250 кВА; 3) 25,40,63,100,160,250,400,630,750,1000 кВА.

### **3. Что входит в состав вводного устройства КТП?**

Возможные ответы:

- 1) силовые предохранители и проходные изоляторы;
- 2) разъединитель и проходные изоляторы;
- 3) силовые предохранители и силовой трансформатор.

### **4. Какие изоляторы входят в состав вводного устройства?**

Варианты: 1) аппаратные; 2) опорно-стержневые; 3) опорно-штыревые; 4) проходные.

### **5. Какими аппаратами осуществляется защита отходящих линий от токов короткого замыкания?**

Возможные ответы: 1) разрядниками; 2) разъединителями; 3) автоматическими выключателями; 4) магнитными пускателями.

### **6. Каким образом происходит управление уличным освещением?**

Возможные ответы: 1) фотореле с магнитным пускателем; 2) автоматическим выключателем с фотореле; 3) фотореле.

### **7. Какие коммутационные аппараты входят в состав КТП?**

Возможные ответы:

- 1) выключатель нагрузки, разъединитель, предохранители, заземляющий разъединитель, автоматические выключатели, рубильники, магнитный пускатель;
- 2) разъединитель, разрядник, автоматический выключатель;
- 3) предохранитель, рубильник, магнитный пускатель.

**Тесты для самопроверки по разделу**  
**«Разъединители, отделители, короткозамыкатели»**

**1. Для чего предназначены разъединители?**

Возможные ответы:

- 1) для создания видимого разрыва;
- 2) для включения и отключения электрических цепей высокого напряжения;
- 3) для защиты от токов короткого замыкания;
- 4) 1) и 2);
- 5) 1), 2) и 3).

**2. Какое основное условие должно выполняться при работе с разъединителем?**

Возможные ответы:

- 1) отсутствие токов нагрузки;
- 2) обязательное наложение переносного заземлителя;
- 3) отключение электрической энергии на головной ТП;
- 4) 1) и 2).

**3. Какое значение рабочего тока допускается без отключения токов нагрузки?**

Возможные ответы:

- 1) 50 А; 2) 25 А; 3) 15 А; 4) 10 А; 5) 5 А.

**4. Перечислите требования, предъявляемые к разъединителям?**

Возможные ответы:

- 1) создание видимого разрыва, электродинамическая и термическая прочность, чёткое включение и отключение в экстремальных условиях, простота конструкции;
- 2) простота конструкции, низкая стоимость, термическая устойчивость, блокировка ножей разъединителя;
- 3) низкая стоимость, электродинамическая устойчивость, заземление, простота конструкции.

**5. Сколько медных полос содержит нож разъединителя при токе до 1 кА?**

Возможные ответы:

- 1) 2; 2) 3-4; 3) 5-6.

**6. Чем фиксируется положение разъединителя рубящего типа?**

Возможные ответы:

- 1) системой специальных блокирующих контактов;
- 2) системой рычагов привода;
- 3) автоматическим блокирующим устройством.

**7. По какой величине проверяется разъединитель на электродинамическую и термическую стойкость?**

Возможные ответы:

- 1) по номинальному рабочему току;
- 2) по номинальному напряжению;
- 3) по току короткого замыкания.

**8. Какой тип привода применяется для главных ножей разъединителя рубящего типа наружной установки?**

Возможные ответы:

- 1) электродвигательный;
- 2) пневматический;
- 3) пневмогидравлический;
- 4) ручной.

**9. Какой тип привода применяется для заземляющих ножей разъединителя рубящего типа наружной установки?**

Возможные ответы:

- 1) электромагнитный; 2) пружинный; 3) ручной.

**10. Расшифровать аббревиатуру РВЗ-10/630 I УХЛ2.**

Возможные ответы:

- 1) разъединитель внутренней установки, для работы в умеренном и холодном климате, с заземлёнными ножами, на напряжение 10 кВ, номинальный ток – 630А, проходные изоляторы установлены со стороны наружных контактов;
- 2) разъединитель вертикально-поворотного типа с заземлителем, усиленный, с растяжением контактов, номинальные ток и напряжение, соответственно 6,3кА и 10 кВ, для работы в холодном климате, с размещением проходных изоляторов с двух сторон.

**11. Какой аппарат называется короткозамыкателем?**

Возможные ответы:

- 1) автоматически включающийся разъединитель, предназначенный для искусственного короткого замыкания;
- 2) автоматически включающийся отделитель, предназначенный для создания искусственного короткого замыкания;
- 3) аппарат, предназначенный для защиты от короткого замыкания в сетях с изолированной нейтралью.

**12. Что обеспечивает включение заземлённого ножа короткозамыкателя в сетях с изолированной нейтралью?**

Возможные ответы:

- 1) пружина привода выключателя;
- 2) отделитель; 3) блокирующий автоматический выключатель.

**13. Каким образом осуществляется отключение короткозамыкателя?**

Возможные ответы:

- 1) вручную; 2) автоматически.

**14. Для какой цели необходимо обеспечивать максимальную скорость движения ножа разъединителя?**

Возможные ответы:

- 1) во избежание возникновения дуги;
- 2) во избежание повреждения аппарата; 3) 1) и 2).

**15. Какое время допускается на включение короткозамыкателя, в с.?**

Возможные ответы:

- 1) 0,1-0,2; 2) 0,4-0,5; 3) 0,5-1,0; 4) 0,6-1,5.

**16. Чем заполняется полость контактной камеры короткозамыкателя КЗ-110?**

Возможные ответы:

- 1) маслом; 2) вакуумом; 3) элегазом.

**17. Каково отношение короткозамыкателя КЗ-110 к взрыво- и пожароопасности?**

Возможные ответы:

- 1) взрыво- и пожароопасен; 2) пожароопасен; 3) взрывоопасен; 4) взрыво- и пожаробезопасен.

**18. Для чего предназначены отделители?**

Возможные ответы:

- 1) для отделения линии электропередачи от масляных выключателей;
- 2) для отключения и включения токов намагничивания силовых трансформаторов;
- 3) для отключения зарядных токов линии;
- 4) б) и в).

**19. Как происходит отключение отделителя?**

Возможные ответы:

- 1) вручную; 2) автоматически.

Тесты для самопроверки по разделу  
«Выключатели»

**1. Для чего предназначен выключатель?**

Возможные ответы:

- 1) для коммутации электрических цепей высокого напряжения под нагрузкой;
- 2) для коммутации электрических цепей высокого напряжения без токов нагрузки;
- 3) для отключения электрических цепей при коротких замыканиях;
- 4) 1) и 2); 5) 1) и 3); 6) 2) и 3).

**2. Чем характеризуется устойчивость выключателя при сквозных токах КЗ?**

Возможные ответы:

- 1) током термической устойчивости; 2) предельным сквозным током; 3) 1) и 2).

**3. Что такое время отключения выключателя?**

Возможные ответы:

- 1) время от подачи команды на отключение до размыкания дугогасительных контактов;
- 2) время от подачи команды на отключение до погасания дуги на всех полюсах.

**4. Что устанавливают последовательно с выключателями нагрузки?**

Варианты: 1) предохранители; 2) разрядники; 3) разъединители; 4) короткозамыкатель.

**5. Какой ток электродинамической стойкости выдерживает корпусно-изоляционная система выключателя нагрузки?**

Возможные ответы: 1) 5 кА; 2) 10 кА; 3) 25 кА; 4) 81 кА.

**6. Каково собственное время отключения выключателя нагрузки?**

Возможные ответы: 1)  $\leq 0,1$  с; 2)  $\leq 0,5$  с; 3)  $\leq 1$  с; 4)  $\leq 2,5$  с.

**7. Для какой цели служит масло в баковых выключателях?**

Возможные ответы: 1) для изоляции токоведущих частей; 2) для гашения дуги; 3) 1) и 2).

**8. Почему в баковых выключателях масло заливается не полностью?**

Возможные ответы: 1) произойдёт взрыв; 2) может быть повреждена крышка бака.

**9. Какой принцип гашения дуги используется в выключателе ВМ-35?**

Варианты: 1) автодутьё; 2) принудительное масляное дутьё; 3) магнитное гашение дуги.

**10. Каково время гашения дуги в малообъёмных (горшковых) выключателях?**

Возможные ответы: 1) 0,1 с; 2) 0,15 с; 3) 0,025 с; 4) 0,05 с; 5) 0,02 с.

**11. Для чего используется масло в малообъёмных выключателях?**

Возможные ответы: 1) для гашения дуги; 2) для изоляции токоведущих частей; 3) 1) и 2).

**12. Как осуществляется гашение дуги в воздушных выключателях?**

Возможные ответы: 1) сжатым воздухом; 2) элегазом; 3) гидравлической системой.

**13. Что используется для гашения дуги в элегазовых выключателях?**

Варианты: 1) устройство вращения дуги; 2) -//- дробления дуги; 3) -//- растягивания дуги.

**14. Что применяется для гашения дуги в вакуумных выключателях?**

Возможные ответы: 1) газ; 2) элегаз; 3) электромагнитный контур; 4) поршневое устройство; 5) катушка магнитного дутья; 6) 1) и 3); 7) 2) и 4); 8) 3), 4) и 5).

**15. Отношение вакуумных выключателей к взрыво- пожароопасности?**

Варианты: 1) взрывоопасен; 2) пожароопасен; 3) 1) и 2); 4) взрыво- пожаробезопасен.

**16. Основной недостаток вакуумных выключателей?**

Варианты: 1) взрыво- пожароопасность; 2) невозможность УАПВ; 3) перенапряжения.

**17. Где расположена дугогасительная камера у колонковых выключателей?**

Возможные ответы: 1) в изоляторе; 2) в баке.

**18. Как осуществляется выбор выключателя любого типа?**

Варианты: 1) по длительному току; 2) по напряжению; 3) по отключающей способности; 4) 1) и 2); 5) 2) и 3); 6) 1) и 3); 7) 1), 2) и 3).

**19. Расшифровать аббревиатуру: ВПМ?**

Варианты: 1) выключатель с пружинным приводом малогабаритный; 2) выключатель подстанционный, маломасляный; 3) воздушный подстанционный выключатель, модернизированный; 4) выключатель с пружинным приводом, маломасляный.

## Тесты для самопроверки по разделу «Трансформаторы напряжения»

### **1. Для чего предназначен трансформатор напряжения?**

1) повышения напряжения в сети переменного тока; 2) понижения напряжения в сети переменного тока; 3) 1) и 2); 4) преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока; 5) преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока.

**2. Трансформатор напряжения будет повышающим, если:** 1)  $k > 1$ ; 2)  $k < 1$ ; 3)  $k = 1$ .

### **3. Обмотка ВН трансформатора напряжения имеет (по сравнению с обмоткой НН):**

1) большее число витков, провод большего сечения; 2) большее число витков, провод меньшего сечения; 3) меньшее число витков, провод большего сечения; 4) меньшее число витков, провод меньшего сечения.

### **4. Что применяется для компенсации угловой погрешности трансформатора?**

1) компенсирующая обмотка; 2) уменьшение числа витков первичной обмотки; 3) уменьшение числа витков вторичной обмотки; 4) увеличение числа витков вторичной обмотки.

### **5. Чем определяется нагрузочная способность трансформатора?**

1) совокупностью допустимых нагрузок; 2) совокупностью допустимых перегрузок; 3) 1) и 2).

### **6. Что определяется по значению напряжения короткого замыкания?**

Варианты: 1) возможность параллельной работы трансформаторов; 2) возможность перегрузки трансформатора; 3) токи короткого замыкания; 4) 1) и 2); 5) 2) и 3); 6) 1) и 3).

### **7. Из какого опыта определяется коэффициент трансформации трансформатора?**

Возможные ответы: 1) опыта холостого хода; 2) опыта короткого замыкания.

### **8. Что такое коэффициент загрузки трансформатора?**

1) отношение действительной нагрузки к номинальной; 2) отношение номинальной нагрузки к действительной; 3) отношение первичного напряжения к вторичному.

### **9. Какие потери трансформатора являются постоянными?**

Возможные ответы: 1) потери в стали; 2) потери короткого замыкания.

## Тесты для самопроверки по разделу «Приводы выключателей»

### **1. Каково назначение привода выключателя?**

1) обеспечивать надёжное включение цепей; 2) обеспечивать надёжное отключение цепей; 3) обеспечивать надёжное отключение цепей в аварийных режимах; 4) 1) и 2); 5) 1) и 3).

### **2. Из каких основных частей состоит привод выключателя?**

1) включающий, запирающий и расцепляющий механизмы; 2) включающий, запирающий и удерживающий механизмы; 3) включающий и расцепляющий механизмы.

### **3. В зависимости от использования источника энергии приводы делятся на:**

1) гидромоторные и ручные; 2) двигательные и электромагнитные; 3) ручные и двигательные; 4) пневматические и гидравлические.

### **4. Пружинный привод относится к приводам:**

Возможные ответы: 1) прямого действия; 2) косвенного действия.

### **5. Электромагнитный привод относится к приводам:**

Возможные ответы: 1) прямого действия; 2) косвенного действия.

### **6. С какими выключателями работает привод ППМ-10?**

1) ВМ-35 и ВМГ-10; 2) ВМ-35 и ВС-10-63-2,5; 3) ВМГ-10 и ВМП-10; 4) ВМП-10 и ВМ-35.

### **7. Основной недостаток пружинных приводов?**

1) уменьшение тягового усилия в конце хода включения; 2) увеличение тягового усилия в начале хода включения; 3) уменьшение тягового усилия в начале хода включения; 4) увеличение тягового усилия в конце хода включения.

### **8. За счёт чего происходит уменьшение тягового усилия в конце хода включения пружинного привода? Ответы:**

1) действия электрической дуги; 2) деформации пружины.

### **9. Основной недостаток электромагнитного привода?**

1) высокая стоимость; 2) сложность конструкции; 3) мощный источник постоянного тока.

10. Время действия пневмогидравлического привода? 1) 1с; 2) до 1,5с; 3) 0,1с; 4) 0,2с.



## 8. Методические указания по выполнению домашних заданий и контрольных работ

Выполнение домашних заданий и контрольных работ предусматривает использование учебно-методического пособия Ю.В. Мясоедова, Н.В. Савиной, А.Г. Ротачевой «Электрическая часть станций и подстанций» и учебно-методического комплекса по дисциплине «Электропитающие системы и сети».

В данных методических разработках представлены все необходимые методические указания в области проектирования и компоновки электрической части подстанций электроснабжения и даны проверочные задания по дисциплине. Представленная в этих разработках последовательность реализации вопросов, посвященных рассмотрению проектируемой подстанции электроснабжения, а также приведенные примеры ее расчетов соответствуют стадийности выполнения курсового проекта и комплексного задания по дисциплине.

Следует помнить о том, что при изучении отдельных теоретических вопросов курса используются знания, полученные в ранее изученных дисциплинах.

Поэтому для закрепления полученных ранее знаний и практической их привязки к изучаемому курсу целесообразно использовать следующие методические разработки:

7. Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию «Районная электрическая сеть» - Благовещенск, 1993.

8. Ю.В. Мясоедов, Н.В.Савина, А.Н.Козлов. Автоматизация в курсовом и дипломном проектировании. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2000.

9. Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 1999.

10. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2002.

Задания составлены так, что второе является продолжением первого, а третье - продолжением второго и т.д. Задания даны в вариантах, которые приведены в табл.1.

Студент выполняет вариант, соответствующий последним двум цифрам его шифра.

### *Задание № 1*

На основании исходных данных (табл. 1) требуется:

- 1) выбрать тип и параметры генераторов и системы их возбуждения;
- 2) обосновать главную схему электрических соединений станции и схему собственных нужд;
- 3) осуществить выбор числа и мощности повысительных трансформаторов собственных нужд;
- 4) составить принципиальную схему электрических соединений станции и схему собственных нужд.

Тип и параметры генераторов, устанавливаемых на станции, выбирают на основании заданной мощности по справочным данным. При этом необходимо привести все данные генераторов (номинальные параметры, реактивные сопротивления, систему возбуждения, размер, массу, цену) и дать расшифровку его типа.

Потребители заданы напряжением и мощностью ( $P_{\min}$  и  $P_{\max}$ ). График нагрузки потребителей следует принять ступенчатым (половину суток потребляют  $P_{\min}$ , другую половину -  $P_{\max}$ ) или постоянным (если задано одно значение мощности). По степени ответственности электроснабжения потребители относятся к первой категории.

Если число отходящих потребительских линий не дано в задании, его определяют, исходя из экономически целесообразной мощности для одной линии данного напряжения по табл. 2.

Для проектируемой станции студент намечает два-три варианта главной схемы электрических соединений. Варианты могут отличаться количеством генерирующих источников, подключенных к системам шин разных напряжений, количеством трансформаторов связи между этими системами шин, схемами генераторного и повышенного напряжений, числом высоковольтных выключателей и т.д. Далее производится сравнение вариантов.

Мощность трансформаторов (или автотрансформаторов) определяется с учетом допустимых нормальных (систематических) перегрузок и перегрузок зимой за счет недогрузки летом. Трансформаторы связи по мощности должны быть выбраны так, чтобы они могли заменить любой из генераторов станции; должны быть указаны группа и схема соединения обмоток и дана расшифровка типа трансформатора (автотрансформатора). В справочниках приведены номинальные мощности трансформаторов и автотрансформаторов и их технические данные.

При выборе схемы и источников питания системы собственных нужд (СН) станции студенту необходимо:

- 1) выбрать напряжение распределительных устройств СН;
- 2) определить число и мощность рабочих трансформаторов СН основной ступени напряжения;
- 3) определить число и мощность резервных трансформаторов СН, решить вопрос о месте их подключения.

Расход мощности на собственные нужды станции зависит от типа и мощности станции, рода топлива и способа его сжигания, параметров пара и ряда других условий. При учебном проектировании максимальную мощность, потребляемую на собственные нужды электростанций (в процентах от их установленной мощности) можно выбрать на основании данных табл.3.

На ТЭС для питания собственных нужд применяют два напряжения: 6 кВ - для питания крупных двигателей мощностью 200 кВт и выше; 380/220 В - для питания более мелких двигателей, а также для освещения станции.

РУ СН 6 кВ выполняют с одной секционированной системой шин. Число секций шин 6 кВ на блочных станциях принимают равным числу блоков. Секции шин питаются от трансформаторов или от реактированных линий СН (в зависимости от напряжения генератора), которые присоединяют к блоку на генераторном напряжении. При наличии выключателя между генератором и трансформатором блока ответвление присоединяют, как правило, между выключателем и трансформатором.

Для блоков большой мощности, начиная с 160 МВт, требуется разделение РУСН одного блока на две секции. Для питания секций используют трансформаторы с расщепленной обмоткой низкого напряжения.

На ТЭЦ число секций шин 6 кВ должно соответствовать числу котлов. Источники рабочего питания – трансформаторы или реактивные линии – подключают к сборным шинам генераторного напряжения.

### ***Задание № 2***

Для выбранной в задании 1 главной схемы электрических соединений станции составить расчетную схему и наметить расчетные точки к.з., необходимые для выбора электрических аппаратов и проводников всех наиболее характерных присоединений: генератора, трансформатора, сборных шин повышенных напряжений, цепей ответвлений к трансформаторам или реакторам СН, шин СН 6 кВ (если они предусмотрены на электростанции).

Произвести расчет токов к.з., необходимый для выбора проводников и аппаратов указанных выше соединений. Предварительно определить расчетные рабочие токи как для нормального, так и для аварийного (форсированного) режимов.

### ***Задание № 3***

Для принятой в задании 1 главной электрической схемы:

- 1) выбрать электрические аппараты для ТЭЦ (генераторов, трансформаторов или реакторов СН, шин повышенных напряжений);
- 2) выбрать для схемы ТЭЦ измерительные трансформаторы в цепях генератора, повышающего трансформатора, в цепях отходящих линий, а также на сборных шинах генераторного и повышенных напряжений;
- 3) выбрать сечение токопровода ответвления от генератора к рабочему трансформатору СН.

### ***Задание № 4***

На основании исходных данных (табл.1), главной электрической схемы станции и оборудования, полученных на основании заданий 1-3 требуется:

- 1) выбрать тип и число элементов аккумуляторной батареи;
- 2) выбрать тип, мощность и схему зарядно-подзарядных устройств;
- 3) произвести расчет молниезащиты и заземления ОРУ.

### ***Рекомендации***

В соответствии с принятыми решениями, в заданиях 1-4, выполнить следующее:

1. Разобрать и вычертить полную однолинейную схему проектируемой электрической станции с указанием генераторов, силовых трансформаторов, трансформаторов СН, реакторов, выключателей, разъединителей разрядников, измерительных трансформаторов, измерительных приборов и т.п. Схема должна включать: РУ генераторного напряжения 6-10 кВ и повышенных напряжений, реакторы и кабельные линии, отходящие от ТЭЦ на генераторном напряжении, а также схему рабочего и резервного питания СН для одного генератора в пределах напряжения 6 кВ;

2. Для ТЭЦ выбрать конструкцию РУ генераторного напряжения, разработать и вычертить: а) схемы заполнения ГРУ; б) поперечный разрез по заданию ГРУ по ячейке генератора.

3. Вычертить трехлинейную схему коммутации генератора и включение электроизмерительных приборов, а также схему дистанционного управления выключателем.

В объем заданий входит разработка электрической схемы, выбор которой был сделан ранее, и разработка конструктивных чертежей РУ генераторного или повышенного напряжений. На однолинейной схеме электростанции указываются сборные шины, все присоединения к сборным шинам, коммутационные аппараты во всех цепях, реакторы, измерительные трансформаторы тока, напряжения и электроизмерительные приборы (присоединения последних к измерительным трансформаторам, а также подключение релейной защиты не показываются). Приборы выбираются в соответствии с ПУЭ.

Схема питания собственных нужд электростанции всех напряжений 10, 6, 3 и 0,4/0,23 кВ должна содержать источник питания и схему соединения до групповых секций и щитков включительно (число приемников СН обозначается условно). Схема выполняется на листе формата А3. Условные графические обозначения должны быть сделаны в соответствии с Единой системой конструкторской документации (ЕСКД). Компоновка элементов схемы должна быть выбрана такой, чтобы чертеж был наглядным, с правильным соотношением размеров обозначений электрических машин, аппаратов, измерительных приборов и четкими надписями к ним. На чертеже указываются типы, номинальные значения мощности, напряжения генераторов и трансформаторов и типы выбранных аппаратов. Для упрощения чертежа измерительные трансформаторы и приборы можно показывать только для одного присоединения каждого типа: генератора, трансформатора, секционного выключателя и т.п.

Трансформаторы напряжения сборных шин следует показывать на всех напряжениях и секциях сборных шин. Если нейтрали обмотки высшего напряжения заземляются (рабочее заземление), то это заземление должно быть отражено в чертеже. Вторичные обмотки трансформаторов напряжения тоже заземляются (защитное заземление), но на чертеже эт

можно не показывать. На схеме должны быть показаны все нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН), защищающие трансформаторы и аппараты от перенапряжений, и указаны их типы. К сборным шинам ОПН присоединяют вместе с трансформаторами напряжения через общий разъединитель. Автотрансформаторы и удаленные от РУ трансформаторы должны быть защищены дополнительными ОПН, устанавливаемыми непосредственно у трансформаторов и присоединяемыми без разъединителей.

Если нулевая точка трансформатора заземляется через разъединитель, то параллельно разъединителю включается ОПН для защиты обмотки трансформатора в период работы с разомкнутым разъединителем. Номинальное напряжение этого ОПН должно быть на класс ниже номинального напряжения обмотки трансформатора.

При необходимости установки дугогасящих катушек их включают через разъединители в нейтрали обмоток трансформаторов, которые устанавливаются специально для этого на шинах ГРУ. Необходимость установки катушек должна быть проверена расчетом. Параметры катушки должны быть выбраны и показаны на схеме.

Схема заполнения должна соответствовать схеме электрических соединений генераторного напряжения. При большом количестве присоединений к сборным шинам можно предусматривать их двухрядное расположение. При этом необходимо учесть, что вводы токопроводов генератора и выходы токопроводов к трансформаторам связи должны быть (при отдельно стоящих РУ) в противоположных сторонах схемы заполнения.

Рекомендуется применять комплектные распределительные устройства (КРУ) 6-10 кВ для питания отходящих линий генераторного напряжения и в схеме собственных нужд. Чертеж РУ должен содержать основные размеры конструкций. Схема заполнения и конструктивные чертежи РУ необходимо выполнять на миллиметровой бумаге. В трехлинейной схеме коммутации генераторной цепи должны быть показаны схемы: включения всех контрольно-измерительных приборов; синхронизации; дистанционного управления выключателем.

Необходимо обосновать принятые системы сборных шин, наличие и назначение секционирования (реактирования), перечислить особенности выбранных трансформаторов и их коммутации, степень надежности схем повышенного напряжения и собственных нужд.

Таблица 1. Исходные параметры.

Параметры, определяющие исходные данные	1	2	3	Цифры шифра студента	
Мощность агрегата, МВт	30	60	100	последняя	
Число агрегатов	2	3	4	предпоследняя	
Тип станции, топливо	ТЭЦ уголь	ТЭЦ уголь	ТЭЦ уголь	последняя	
Удельное сопротивление грунта $10^2$ , Ом	0,6	0,7	0,8	предпоследняя	
Общее сопротивление естественных заземлителей, Ом	2	2,5	3	предпоследняя	
Нагрузка на шинах генераторного напряжения	Максимальная нагрузка $P_{MAX}$ , в % к установленной мощности генераторов станции	80	60	40	последняя
	Минимальная нагрузка $P_{MIN}$ , в % к установленной мощности генераторов станции	30	20	10	последняя
	Число отходящих линий	16	8	10	предпоследняя
Связь с системой	Напряжение, кВ	16	8	10	предпоследняя
	Длина линий, км	35	110	220	последняя
	Число ВЛ	20	40	62	последняя
	Мощность системы, МВА	2	4	2	предпоследняя
	Относительное сопротивление	1000	1100	2200	предпоследняя

Таблица 2. Область применений линий разного напряжения

U <sub>л</sub> , кВ	Тип линии	P <sub>ПРЕД</sub> , КВт	L, км
6	Воздушная	2	10
	Кабельная	3	8
10	Воздушная	3	15
	Кабельная	5	10
35	Воздушная	10-25	50-30
110	Воздушная	50-70	120-50
220	Воздушная	150-400	400-200

Таблица 3. Приближенная максимальная мощность потребляемая на СН электростанций, %.

Тип станции	Характерные показатели станции	Потребляемая мощность на СН, %
ТЭЦ	Пылеугольная	8-14
	Газомазутная	5-7

### Задание № 5

Определить электрические нагрузки подстанции для выбора силовых трансформаторов. Исходные данные приведены в таблице вариантов.

Составить схему электрических соединений подстанции, выбрать мощность понизительных трансформаторов, если известно, что потребителей первой категории – 30%, второй – 30%, третьей – 40%. Рассчитать токи короткого замыкания на шинах проектируемой подстанции и выбрать основное оборудование подстанции (выключатели, отделители, короткозамыкатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения, проходные и опорные изоляторы, сборные шины и т.д.). Произвести проверку выбранного оборудования на действие токов короткого замыкания. Выбрать систему оперативного тока. Произвести расчет молниезащиты и заземления подстанции. Графический материал должен содержать два листа чертежей формата А3: принципиальная однолинейная схема коммутации подстанции; в соответствии с заданием преподавателя.

Номер варианта – А.В.С.

А. Данные о напряжениях на ПС и мощности КЗ на шинах системы

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>U<sub>вн</sub>, кВ</b>	220	220	110	220	220	110	220	220	110	220	110
<b>U<sub>сн</sub>, кВ</b>	110	35	35	110	35	35	110	110	35	35	35
<b>U<sub>нн</sub>, кВ</b>	6	10	6	10	6	10	10	10	6	10	10
<b>S<sub>к</sub>, МВА</b>	1800	1500	900	2200	1000	1200	3500	6000	1000	2100	1800

В. Данные о количестве отходящих линий от РУВН, линиях связи с системой и мощности транзита через РУВН.

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол. линий транзита	0	1	2	0	1	2	3	4	3	0	4
<b>S<sub>транзита</sub>, МВА</b>	0	50	80	0	45	90	85	160	70	0	70
Система, n <sub>л</sub>	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
<b>l, км</b>	240	80	115	280	100	220	190	400	200	300	185

С. Данные о количестве отходящих линий и мощности нагрузки на среднем и низком напряжениях подстанции

№		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{CH}, MVA$	$n_\phi$	3	4	5	6	4	3	7	8	5	6	4
	$S_\Sigma$	60	80	110	30	25	18	75	120	70	90	30
$S_{HH}, MVA$	$n_\phi$	8	14	10	24	10	8	12	7	8	10	12
	$S_\Sigma$	12	18	14	25	8	10	15	11	7	8	10

Для закрепления материала курса программой предусмотрено выполнение двух контрольных работ, которые представляют собой элементы проектирования.

В установленные сроки контрольные работы должны быть выполнены студентом и представлены преподавателю для проверки. Для сдачи экзамена по курсу студент должен иметь зачет по контрольным работам.

Номер варианта определяется по двум последним цифрам шифра студента.

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

На основании исходных данных (табл. 1) и суточных графиков нагрузки (рис. ПЗ.1) выбрать экономически целесообразную мощность трансформаторов двухтрансформаторной подстанции с учетом надежности электроснабжения (рис. ПЗ.2).

Таблица 1.

Параметры	Варианты и исходные данные										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
1. Максимальная нагрузка ПС, МВт	Последняя цифра шифра										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
2. $\cos(\varphi)$	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	
3. Доля потребителей 1-й категории, %	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	

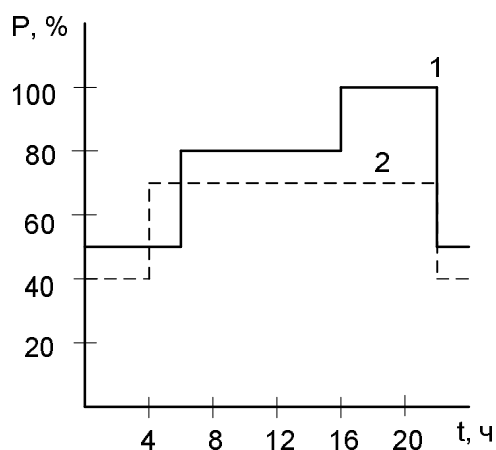


Рисунок- ПЗ.1 (1 – зима, 2 – лето)

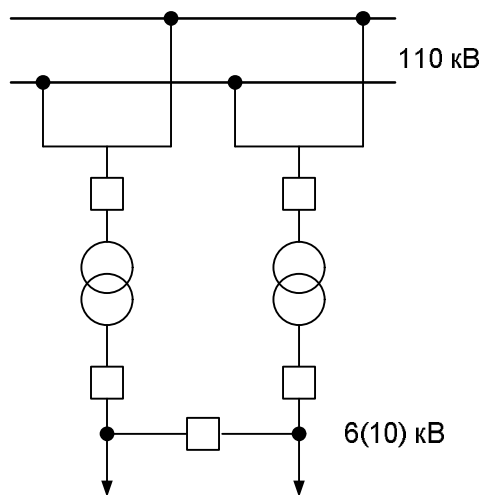


Рисунок- ПЗ.2

#### Указания

1. Для выбора экономически целесообразной мощности трансформаторов с учетом надежности электроснабжения необходимо провести сопоставление трех вариантов по приведенным затратам

$$Z = p_n \cdot K + I + \Delta W_{нед} \cdot y_0,$$

где  $K$  – капиталовложений на сооружение электроустановки,

$p_n = 0.12$  – нормативный коэффициент эффективности,

$I$  – годовые эксплуатационные издержки,

$\Delta W_{нед}$  – математическое ожидание недоотпуска электроэнергии,

$y_0$  – удельный ущерб от недоотпуска.

2. Тип и параметры трансформаторов, устанавливаемых на подстанции, выбираются на основании заданной мощности согласно справочной литературе [4, 8, 9].

3. Определить загрузку трансформаторов в нормальном режиме для каждого из трех вариантов по следующей формуле:

$$\frac{P_{\max}}{2 \cdot S_T \cdot \cos \varphi} \cdot 100,$$

где  $S_T$  – мощность предварительно выбранного трансформатора,  $МВ \cdot А$ .

4. Определить загрузку при вынужденном простое одного из трансформаторов

$$\frac{P_{\max}}{S_T \cdot \cos \varphi} \cdot 100.$$

5. Выделить варианты, в которых при вынужденном простое одного из трансформаторов нагрузка потребителя ограничивается. Мощность потребителей, которые при этом будут снабжаться электроэнергией, определяется исходя из 40%-й перегрузки оставшегося в работе трансформатора

$$P_{ав} = 1.4 \cdot S_T \cdot \cos \varphi.$$

При этом предусматривается отключение лишь части нагрузки потребителей второй категории.

6. Чтобы сопоставить рассматриваемые варианты мощностей трансформаторов по приведенным затратам необходимо определить для каждого варианта недоотпуск энергии с учетом продолжительности работы по зимнему и летнему графикам (рис. П3.3).

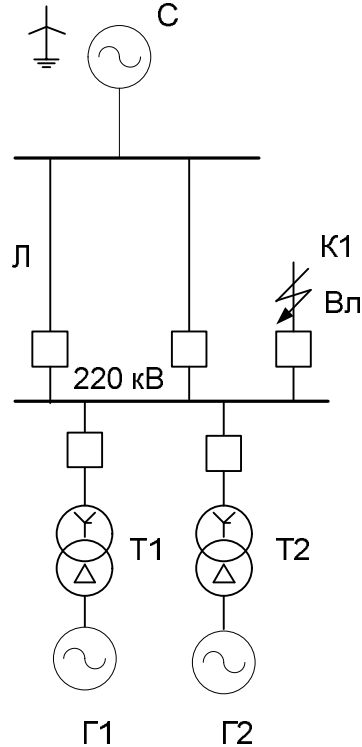


Рисунок- П3.3

$$\Delta W_{нед} = (F_{зз} \cdot d_з + F_{эл} \cdot d_л) \cdot k_6,$$

где  $F_{зз}$  и  $F_{эл}$  – суточная недоотпущенная электроэнергия для зимних и летних суток (определяется из графиков);

$d_3 = 200$  дн.;  $d_4 = 165$  дн. – соответственно число дней работы по зимнему и летнему графикам;

$k_6$  – коэффициент вынужденного простоя.

7. Коэффициент  $k_6$  соответствует режиму, когда один из двух трансформаторов находится в вынужденном простое из-за его собственного отказа или отказа выключателя на низшей стороне трансформатора [5]:

$$k_6 = 2 \cdot (k_{6m} + k_{6e}) = 2 \cdot \left( \frac{\omega_m \cdot T_{6m}}{8760} + \frac{\omega_e \cdot T_{6e}}{8760} \right),$$

где  $k_{6m}$  и  $k_{6e}$  – коэффициенты вынужденного простоя трансформатора и выключателя на стороне низшего напряжения;

$\omega_m$  и  $\omega_e$  – соответственно параметры потоков отказов трансформатора и выключателя;

$T_{6m}$  и  $T_{6e}$  – соответственно средние времена восстановления трансформатора и выключателя.

Значения параметров потока отказов и среднее время восстановления  $T_{6m}$  и  $T_{6e}$  определяются по [4, 5, 10].

Результаты расчетов для всех вариантов рекомендуется свести в таблицу-2 по приведенной ниже форме.

Таблица-2

Показатели	Варианты		
	1	2	3
$S_{TP}$ , МВ·А			
$K$ , тыс. р.			
$P_{ав}$ , МВт			
$F_{эз} \cdot d_3 + F_{эл} \cdot d_4$ , кВт·ч			
$\Delta W_{нед}$ , кВт·ч			
$p_n \cdot K + I$ , тыс. р.			

8. Ежегодные издержки  $I$  состоят из стоимости потерь энергии в трансформаторах  $I_{ном}$  и отчислений на амортизацию, ремонт и обслуживание –  $I_\alpha$ :

$$I_\alpha = \alpha \cdot K,$$

где  $\alpha$  – норма амортизационных отчислений.

При расчете стоимости потерянной в трансформаторах электроэнергии принимается, что трансформаторы все время находятся в нормальном режиме работы.

Стоимость потерянной энергии в стали равна 0.5 к/(кВ·ч), а в меди – 0.6 к/(кВ·ч).

9. По данным таблицы построить зависимость приведенных затрат для рассматриваемых вариантов в функции удельного ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям и определить область экономически целесообразного применения трансформаторов различных мощностей.

Граничное значение удельного ущерба, при котором целесообразен переход от одного варианта к другому, определяется:

$$y_{0zp} = \frac{p_n \cdot K_2 + N_2 - p_n \cdot K_1 - N_1}{\Delta W_{нед1} - \Delta W_{нед2}}$$



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 2

Для энергосистемы, схема которой представлена на рис. ПЗ.3, выбрать выключатель  $B_l$  и определить скорость восстанавливающегося напряжения на его полюсах при отключении к. з. в точке  $KI$  (при условии, что линия, на которой произошло к. з., со стороны системы отключена). Считаем, что турбогенераторы  $G1$  и  $G2$  одинаковой мощности и протяженность всех линий связи с системой одинакова. Параметры, определяющие исходные данные, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры	Варианты и сходные данные									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
Мощность турбогенераторов $G1, G2$ , МВт	500	300	200	160	150	120	100	63	60	25
Длина линии связи $l$ , км $X_{y\partial 1} = 0.4$ , Ом/км, $X_{y\partial 0} = 2 \cdot X_{y\partial 1}$	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100
	Предпоследняя цифра шифра									
Мощность системы $C$ , МВ·А	10000	9000	8000	7000	6000	3000	2000	1000	900	800
$X_{C1} = X_{C2}$	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.75	0.65	0.85	0.69

где  $X_{C1}$  – относительное номинальное сопротивление системы (прямой последовательности);

$X_{C2}$  – относительное номинальное сопротивление системы (обратной последовательности);

$l$  – длина линии связи с системой;

$X_{y\partial 1}$  – индуктивное сопротивление линии на 1 км длины (прямой последовательности);

$X_{y\partial 0}$  – индуктивное сопротивление линии на 1 км длины (нулевой последовательности).

### Указания к выполнению контрольной работы

1. Выбрать тип и параметры генераторов  $G1, G2$  и трансформаторов  $T2, T2$  по справочной литературе [4, 8, 9].
2. Составить схемы замещения прямой и нулевой последовательностей и рассчитать токи к.з., выбрать выключатель  $B$  и проверить его по восстанавливающемуся напряжению.
3. Подробно методика расчета восстанавливающегося напряжения приведена в [1], с. 129—141.

### Литература для выполнения контрольных работ

1. Электрическая часть станций и подстанций. / Под ред. А. А. Васильева. - М.: Энергия, 1980. - 608 с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. / Под ред. С. С. Рокотяна и Н. М. Шапиро. - М.: Энергия, 1977. - 286 с.
3. Электрическая часть электростанций и подстанций: - Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / Под ред. Б. Н. Неклепаева. - М.: Энергия, 1978. - 456 с.
4. Электротехнический справочник. Т. 3, книга 1: Производство, передача и распределение электрической энергии. / Под общ. ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского и др. - М.: Энергоиздат, 1982. - 656 с.
5. Гук Ю. Б. Основы надежности электроэнергетических установок. - Л.: Изд. ЛГУ, 1978. - 192 с.

## 9. Перечень программных продуктов, реально используемых в практике деятельности выпускников

В процессе обучения студенты используют промышленные разработки необходимые для последующей их реализации в практической деятельности:

1. Учебные программные комплексы для ПЭВМ, разработанные кафедрой энергетики: "ZAPUSK", "CURSE2", "KRNETH", "TKZ3000", "Механическая часть ВЛ", "Расчет электрической сети", а также программные комплексы других ВУЗов, ориентированные на преподавателей, студентов и людей, занимающихся самоподготовкой в области электроснабжения, такие как Elsnab8 "Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей" и ACPE – Account of the course project on electro supply. Программа для автоматизации расчетов курсового проекта по электроснабжению сельских населенных пунктов. Эти программы защищены авторскими правами, сертифицированы и являются бесплатными при использовании в некоммерческих целях.
2. Промышленные программно-вычислительные комплексы: "SDO-6", "RASTR" и Пакет автоматизации математических расчетов «MathCad».

Основными компьютерными программами для выполнения курсового проекта являются:

### *1. Программа расчета для РС "ZAPUSK" – Расчеты систем электроснабжения.*

Программа разработана в Приазовском государственном техническом университете и Амурском государственном университете. Авторы программного комплекса: Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Подгорный А.А. Программа позволяет произвести расчет мощности трехфазных и однофазных электрических нагрузок силовой и осветительной сети, определить координаты центра электрических нагрузок, осуществить технико-экономическое сравнение вариантов распределительной сети. В программе предусмотрена возможность выполнить расчёты токов трехфазного и однофазного к.з.

### *2. Программа расчета для РС Elsnab8 "Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей".*

Программа разработана в Ставропольском государственном аграрном университете. Авторы программного комплекса: Лысаков А.А., Коноплёв Е.В., Нагорный А.В., Ивашин А.В. Данный программный комплекс предназначен для расчета сельскохозяйственных сетей ВН и НН и расчета электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Программа позволяет произвести расчет высоковольтных сельскохозяйственных сетей с трансформаторными подстанциями и соответственно с их потребителями, а так же представлен расчет низковольтной сети трансформаторной подстанции с низковольтными потребителями. Программа рекомендуется для внедрения в учебный процесс на факультетах электрификации и автоматизации, а так же на любых других, имеющих дисциплину "Электроснабжение". Программа запатентована (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612738 "Электроснабжение сельского хозяйства") и скоро намечается ее выход под грифом УМО.

### *3. ACPE – Account of the course project on electro supply. Программа для автоматизации расчетов курсового проекта по электроснабжению сельских населенных пунктов.*

Программа разработана в Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. Авторы программного комплекса: Наумов И.В., Шпак Д.А., Лыткин А.А.

Программа позволяет произвести расчет мощности нагрузки жилых домов, определить координаты места установки ТП, выполнить расчёт электрических нагрузок, осуществить выбор сечений проводов ВЛ, провести проверку сети на допустимые колебания напряжения при пуске двигателя. В программе предусмотрена возможность выполнить расчёты токов трехфазного и однофазного к.з. и на их основе произвести расчёт заземляющего устройства.

## 10. Методические указания по применению современных информационных технологий

1. Презентации, слайды, технические характеристик, каталоги по электрическому оборудованию, типовые проекты ТП и РП. ОАО «ПО Элтехника» (Санкт-Петербург), ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод», ОАО «Ангарский электроаппаратный завод» - 3 компакт диска.
2. Электронные схема системы электроснабжения и план города Благовещенска.
3. Схемы, таблицы, рисунки под медиакомплекс;
4. Лазерные пленки к проектоскопу по теме «Конструкция ВЛ и КЛ» - 18 штук.
5. Тренажер городской распределительной электрической сети.
6. Плакаты по оборудованию.
7. Комплект индивидуальных заданий по дисциплине.
8. Ю.В. Мясоедов. Электронный учебник «Электроснабжение городов».
9. Наумов И.В. Мультимедиа учебник «Электроснабжение сельского хозяйства». Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. 2005.
10. Тренажер городской распределительной электрической сети.
11. Учебные и промышленные программно-вычислительные комплексы "ZAPUSK", "CURSE2", "Расчет электрической сети", "Механическая часть ВЛ", "KARNET", "TKZ3000", "Elsnab8", "ACPE", SDO-6", "RASTR", а также пакет автоматизации математических расчетов «MathCad».

## 11. Методические указания по организации межсессионного контроля знаний студентов

В процессе изучения дисциплины предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

пятиминутный блиц-опрос опрос студентов на каждой лекции по пройденному материалу;

выполнение 4 контрольных работ по рассмотренным темам;

проведение 2 коллоквиумов по лекционному материалу;

студенты, не посещающие лекционные и практические занятия, представляют рефераты по пропущенным темам;

выполнение индивидуальных домашних заданий с последующей их защитой;

комплексные задания по разработке подстанции.

*Блиц – опрос* проводится в начале каждой лекции в течение 5 минут, вопросы, выносимые на опрос, формулируются из материала лекции, при этом на лекциях для студентов указывается по каким разделам лекционного материала будет проводиться опрос и формулируются сами вопросы.

*Контрольные работы* предусматриваются по следующим темам:

расчет электрических нагрузок и выбор сечения проводов (кабелей);

расчет потерь напряжения, мощности и энергии в электрических сетях и трансформаторах;

расчет трехфазных и однофазных токов коротких замыканий;

выбор электрических аппаратов и устройств РЗА на подстанции.

*Коллоквиумы* включают в себя вопросы посвященные ранее изученным разделам в других дисциплинах, таким как «конструктивное исполнение подстанций»; «выбор электрических аппаратов на подстанции», «регулирование напряжения и выбор регулировочных ответвлений трансформатора», «выбор уставок РЗА». Вопросы на коллоквиумы представлены следующим списком:

1. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП и ПГВ.
2. Потребление реактивной мощности.
3. Выбор компенсирующих устройств.
4. Выбор сечения проводов и жил кабелей по экономической плотности тока.
5. Выбор сечения проводов и жил кабелей по нагреву.
6. Падение и потеря напряжения.
7. Определение наибольшей потери напряжения.
8. Выбор сечения проводов и жил кабелей по допустимой потере напряжения.
9. Выбор сечений воздушных и кабельных линий 0,4 и 6-10 кВ.
10. Выбор оборудования на напряжение до 1 кВ.
11. Выбор оборудования на напряжение 6-10 кВ.
12. Защита элементов системы электроснабжения на напряжение до 1 кВ.
13. Защита элементов системы электроснабжения на напряжение выше 1 кВ.
14. Выбор и проверка электрических аппаратов.
15. Автоматика на подстанции.
16. Выбор уровня рационального напряжения.
17. Обеспечение качества напряжения.
18. Расчет емкостных токов замыкания на землю.
19. Выбор ДГР.
20. Выбор аккумуляторной батареи.

*Рефераты* по пропущенным темам выполняются студентами из следующего перечня:

1. Определение расчетных электрических нагрузок.
2. Регулирующий эффект нагрузки и компенсация реактивной мощности.
3. Выбор источников питания. Обеспечение качества напряжения.
4. Определения и основные требования к расположению подстанций.
5. Расчет токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ.
6. Расчет токов короткого замыкания в сетях выше 1 кВ.
7. Ограничение токов короткого замыкания.
8. Защита элементов системы электроснабжения на напряжение до 1 кВ.
9. Защита элементов системы электроснабжения на напряжение выше 1
10. Режим нейтрали и компенсация емкостных токов замыкания на землю.
11. Регулирование напряжения.
12. Автоматика на подстанции.
13. Техничко-экономические расчеты и выбор оптимальных вариантов.
14. Требования к надежности электроснабжения потребителей.
15. Компоновка РУ 6-20 кВ
16. Компоновка РУ 35 кВ.
17. Компоновка РУ 110 кВ.
18. Компоновка РУ 220 кВ.
19. Компоновка ОРУ 35-220 кВ.
20. Компоновка ЗРУ 35-220 кВ.

## 12. Фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний

Фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине входит составной частью в фонд тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по специальности 140211 – Электроснабжение, утвержденный УМО по образованию в области энергетики и электротехники.

Контрольные экзаменационные задания (КЭЗ) представлены либо как единая ситуационная задача, требующая построения алгоритма решения в виде последовательно описываемых этапов, каждый из которых характеризует технологическую или (и) конструктивную проблему, либо состоят из отдельных вопросов, составленных таким образом, чтобы выбор охватываемых ими проблем обеспечивал проверку умений по тем базовым и специальным дисциплинам, которые формируют профессиональный уровень выпускника (т.е. несут в себе информацию, непосредственно связанную с обобщенными задачами профессиональной деятельности будущих специалистов).

Ответы на вопросы контрольных заданий обязательно требуют от экзаменуемых использования знаний и умений по дисциплине. Вопросы КЭЗ не имеют рецептурно-справочный характер. Во всех случаях в КЭЗ нет вопросов, не соответствующих хотя бы одному из требований к знаниям и умениям студентов.

Все КЭЗ индивидуальны и повторяющихся вопросов нет. При этом вопросы составлены так, чтобы трудоемкость требуемых конкретных ответов всех КЭЗ была приблизительно одинакова. Вопросы имеют как качественный, так и количественный характера (в виде задач). Задачи для решения четко сформулированы, имеют совершенно определенную физическую и инженерную основу. Они имеют однозначный ответ, получение которого не требует громоздких вычислений. В тексте задач нет сведений справочного характера и подсказок о теоретических принципах решения, поскольку именно они должны быть самостоятельно найдены экзаменуемым.

Результаты ответа на контрольное задание определяются дифференцированно (по 4-х балльной системе): оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», которые объявляются в тот же день.

Оценка «отлично» выставляется студенту при условии решения всех заданий с использованием современных методов расчета, нормативных и организационных документов, проявившему инженерный и творческий подход к поставленным задачам и обоснованность принятых решений. Оценка «хорошо» выставляется студенту при условии решения 80% заданий с использованием современных методов расчета, нормативных и организационных документов, использовавшему стандартные и типовые инженерные решения и обосновавшему принятые решения с технико-экономической точки зрения. Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту при условии решения не менее 50% заданий с использованием современных методов расчета, нормативных и организационных документов, использовавшему стандартные и типовые инженерные решения. В случае несоблюдения вышеуказанных критериев студенту выставляется оценка «неудовлетворительно».

Критерии оценки должны быть единообразны по всем вопросам контрольных заданий, а их основополагающим принципом при ответе на качественный вопрос должно быть четкое соответствие анализа физической и инженерной картины рассматриваемого процесса или устройства (а, также, при необходимости, их математического описания) требованиям ГОС в рамках регламентированных видов профессиональной деятельности.

При ответе на количественный вопрос (задачу) ответ считается полноценным, если получено не только правильное численное значение искомого параметра, но и приведено решение с обоснованием выбора расчетных зависимостей (форму) и правомочности их

применения, а также даны ссылки на необходимые сведения, заимствованные из справочников и других источников.

Ответы на вопросы качественного характера не должны сводиться к простому пересказу той, или иной главы учебника. Конкретный ответ на такой вопрос должен требовать от экзаменуемого некоторого анализа и синтеза известных ему положений, вытекающих из изучения базовых и специальных дисциплин.

В качестве примера подробно приведены вопросы для самопроверки и варианты различных типов тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине «Электропитающие системы и сети», остальные находятся в фонде специальности 140211 – Электроснабжение, находящемся в учебно-методическом кабинете кафедры энергетики.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Чем отличается система охлаждения трансформаторов М и Д?
2. Чем отличаются допустимые нагрузки сверх номинальной мощности от аварийных перегрузок?
3. Как определить типовую, проходную и номинальную мощность автотрансформатора?
4. Почему нейтрали автотрансформаторов должны быть заземлены?
5. Как выбираются число и мощность трансформаторов связи на ТЭЦ?
6. Как выбирается число секций ГРУ 6—10 кВ на ТЭЦ?
7. Какова область применения схемы с одной секционированной системой шин?
8. При повреждении, в каком элементе схемы с двумя системами шин может нарушиться электроснабжение всех присоединений?
9. В каких схемах можно произвести ремонт сборных шин без нарушения электроснабжения потребителей?
10. В каких схемах можно произвести ремонт линейного выключателя без нарушения электроснабжения по этой линии?
11. Каково назначение секционного, обходного, шиносоединительного выключателей?
12. Назовите область применения схем треугольника, квадрата, пятиугольника. Каковы достоинства и недостатки этих схем?
13. Сравните схемы блоков генератор — трансформатор с генераторным выключателем и без него в режиме отключения блока и включения его в работу.
14. В каких целях применяются схемы укрупненных блоков: два генератора и более на один трансформатор?
15. Какая разница в присоединении рабочих трансформаторов с.н. на ТЭЦ, блочных КЭС и АЭС?
16. Куда присоединяются резервные трансформаторы с. н. в схемах ТЭЦ, блочных КЭС и АЭС? Как выбирается их количество?
17. Какие автономные источники питания с.н. используются на АЭС?
18. Чем отличается схема питания с.н. подстанций с оперативным постоянным и переменным током?
19. Какими преимуществами обладают ЗРУ перед ОРУ?
20. Какие распределительные устройства обеспечивают большую безопасность и удобство обслуживания — ЗРУ, ОРУ или КРУ?
21. Какие типы выключателей устанавливаются в закрытых распределительных устройствах 35 кВ и выше?
22. Как обеспечивается пожарная безопасность в закрытых и открытых РУ?
23. Чем отличаются комплектные распределительные устройства для внутренней установки (КРУ) от комплектных распределительных устройств для наружной установки (КРУН)?
24. В чем заключается особенность КРУ с расположением выключателей на выкатном элементе?
25. Какие типы выключателей применяются в КРУ?

26. В чем преимущества КРУ перед ЗРУ?
27. Какие меры обеспечивают нормальную работу оборудования в КРУН в зимнее время при низких температурах?
28. Назовите конструктивные особенности КРУ с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Их преимущества перед КРУ с воздушной изоляцией.
29. Какова область применения комплектных трансформаторных подстанций (КТП)?
30. В чем заключается особенность конструкции открытого РУ с гибкой ошиновкой по сравнению с открытым РУ, имеющим жесткую ошиновку?
31. Какова область применения открытых токопроводов, комплектных токопроводов и кабельных соединений между генераторами, силовыми трансформаторами и ЗРУ 6—10 кВ?
32. Каково назначение главных щитов управления (ГЩУ), центральных щитов управления (ЦЩУ)? Объяснить их расположение на электростанциях разного типа.
33. На каких электростанциях предусматриваются блочные щиты управления (БЩУ)?
34. Каковы причины возникновения КЗ в электроустановках?
35. Чем определяется наличие периодической и аperiodической составляющих в токе КЗ?
36. Дайте определение ударного тока КЗ.
37. Каковы последствия возникновения КЗ в системе собственных нужд электрических станций?
38. Какой эффект дает применение в энергосистемах быстродействующих устройств релейной защиты и отключающих аппаратов?
39. Какие виды КЗ возможны в сетях с эффективно заземленными и незаземленными нейтральными?
40. Изложите суть методики проверки термической стойкости электрических аппаратов и токоведущих частей.
41. Чем определяется необходимость снижения значений токов КЗ в энергосистеме? Каковы пути их снижения?
42. В чем состоят преимущества применения сдвоенных токоограничивающих реакторов перед одинарными?
43. Перечислите присоединения ТЭЦ, где целесообразна установка токоограничивающих реакторов.
44. Как определяется величина остаточного напряжения на сборных шинах при КЗ за реактором? Для чего необходимо его определять?
45. Какие типы проводников применяются в следующих цепях ТЭЦ: а) сборные шины; б) цепь генератора; в) цепь трансформатора связи со стороны ВН и НН; г) цепь линии 6—10 кВ; д) цепи линий 35—110 кВ?
46. Какие типы проводников применяются на блочных КЭС в основных цепях?
47. В каких цепях проводники не проверяются по экономической плотности тока?
48. Какие конструктивные меры можно предпринять, если жесткие шины не проходят по электродинамической стойкости?
49. Какие способы гашения дуги применяются в аппаратах до 1 кВ и выше?
50. Какую форму имеет плавкая вставка в предохранителях типов ПР и ПН? Для какой цели принята такая форма?
51. Каково назначение контакторов и пускателей, чем они различаются?
52. Назовите достоинства и недостатки бесконтактных коммутационных аппаратов.
53. Почему разъединителем нельзя отключить ток нагрузки?
54. Каково назначение масла в масляных баковых и маломасляных выключателях?
55. Чем осуществляется гашение дуги в воздушных и элегазовых выключателях?
56. В чем заключаются достоинства вакуумных выключателей по сравнению с масляными и воздушными?
57. В чем заключается модульный принцип построения выключателей? Для каких типов выключателей применяется этот принцип?

58. Сколько витков имеет вторичная обмотка одновиткового трансформатора тока с коэффициентом трансформации 600/5?
59. Как изменятся погрешности трансформатора тока, если вторичная нагрузка увеличится вдвое по сравнению с номинальной?
60. Почему в схемах контроля изоляции нельзя применять трехфазные трехстержневые трансформаторы напряжения?
61. Чем отличаются однофазные трансформаторы напряжения ЗНОМ-35 от НОМ-35?
62. Как достигается равномерность загрузки отдельных частей обмотки ВН каскадного трансформатора напряжения?
63. На какие напряжения применяются емкостные трансформаторы НДЕ?
64. Для какой цели применяются измерительные преобразователи?

### ***Примеры контрольных экзаменационных заданий***

Каждое задание содержит комплекс вопросов, позволяющих оценить подготовку студента по данной дисциплине в соответствии с требованиями оценочных и диагностических средств по специальности 140211 – Электроснабжение.

При этом задания могут быть теоретического и расчетного плана, а также иметь комплексный характер.

Ниже приведены варианты различных типов тестовых и контрольных заданий.

### **Контрольные задания по дисциплине «Электропитающие системы и сети. Часть II»**

#### ***Комплексные задания***

##### Вариант № 1

Тип	n ген	Pн ген МВт	РУ ВН						РУ НН			
			нагрузка		система			Uном кВ	Uном кВ	нагрузка		
			n <sub>вл</sub>	S <sub>Σ</sub> МВА	n <sub>вл</sub>	l <sub>вл</sub> км	S <sub>кз</sub> МВА			n <sub>вл</sub>	S <sub>Σ</sub> МВА	
ТЭЦ	4	100	3	210	2	50	1200	110	10	32	120	

1. Выбрать, и обосновать главную схему станции, включая схему РУ НН. Оценить надежность схемы НН с учетом средств автоматики. Выбрать и обосновать количество и мощность трансформаторов связи.
2. Выбрать и проверить по условиям работы при к.з. трансформаторы тока на РУ ВН.
3. Выбрать изоляцию ВЛ, подключенный к шинам ВН и найти 50%-е разрядное напряжение изоляторов.
4. Оценить качество электроэнергии на шинах подстанции с трансформаторами мощностью 2х400 кВА питаемой от РУ НН, предварительно рассчитав режим, если она расположена на расстоянии 0,5 км от РУ НН станции.
5. Охарактеризуйте возможные повреждения и ненормальные режимы силовых трансформаторов и применяемые устройства релейной защиты. Принцип действия основных защит.
6. Какие механизмы собственных нужд ТЭЦ являются ответственными?
7. Показать как влияет тип системы возбуждения генератора на устойчивость системы, сравнив турбо- и гидрогенераторы.



Вариант № 2

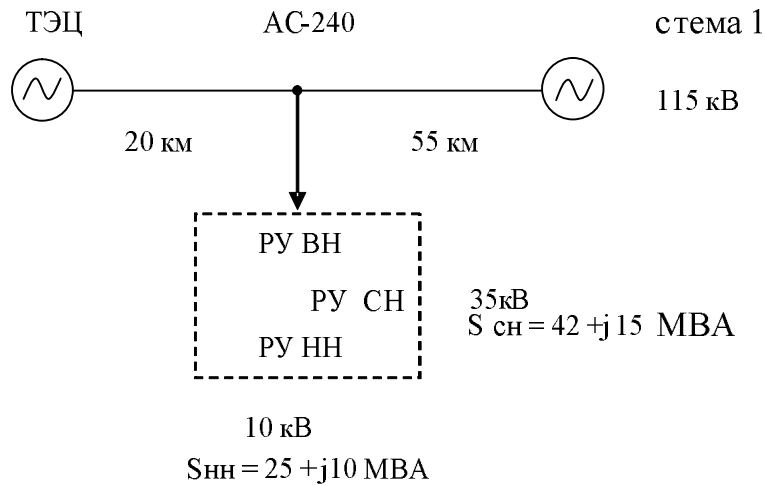
Тип	n ген	P <sub>н</sub> ген МВт	РУ ВН						РУ НН		
			нагрузка		система 1			U <sub>ном</sub> кВ	U <sub>ном</sub> кВ	нагрузка	
			n <sub>вл</sub>	S МВА	n <sub>вл</sub>	I <sub>вл</sub> кМ	S <sub>кз</sub> МВА			n <sub>вл</sub>	S <sub>Σ</sub> МВА
ТЭЦ	12	20	4	180	4	25	15	110	10	6	8

1. Выбрать, и обосновать главную схему станции, включая схему РУ НН. Выбрать и обосновать количество и мощность трансформаторов связи. Постоянное резервирование. Что такое кратность резервирования? Определить кратность резервирования в максимальном режиме.
2. Выбрать разъединители и трансформаторы напряжения и проверить их по условиям работы при к.з.
3. Выполнить защиту от перенапряжений на ТЭЦ. Показать как определяется место установки защитного аппарата на схеме, на плане станции, предварительно разработав однолинейную схему и выполнив компоновку одного из РУ станции.
4. Как выполняется схема электрических соединений собственных нужд на ТЭЦ с ГРУ?
5. Выбрать и обосновать релейную защиту трансформатора собственных нужд. Привести алгоритм расчета выбора уставок резервной защиты.
6. Какие показатели качества электроэнергии необходимо контролировать на шинах станции и почему? Как это осуществить на практике?
7. Конструкция изоляции высоковольтных вводов, условия эксплуатации. Диагностика высоковольтных вводов.

Вариант № 3

Тип	n ген	P <sub>н</sub> ген МВт	РУ ВН						РУ СН (НН)		
			нагрузка		система 1			U <sub>ном</sub> , кВ	нагрузка		U <sub>ном</sub> , кВ
			n <sub>вл</sub>	S <sub>Σ</sub> , МВА	n <sub>вл</sub>	I <sub>вл</sub> , кМ	S <sub>кз</sub> , МВА		n <sub>вл</sub>	S <sub>Σ</sub> , МВА	
ТЭЦ	2 3	80 100	5	400	3	60	1000	110	20	60	10

1. Выбрать и обосновать главную схему станции, включая схему РУ НН, и оценить надежность электроснабжения потребителей от РУ НН в нормальном режиме и при потере одного генератора. Влияние несимметрии напряжения и тока на оборудование станции. Допустимость работы при несимметричной нагрузке генератора.
2. Выбрать и обосновать количество и мощность силовых трансформаторов связи.
3. Выбрать и проверить выключатель на присоединении, питающем мельницу мощностью 400 кВт. Принцип действия вакуумных выключателей, их достоинства и недостатки. Особенности их применения в РУ СН станций.
4. К линии связи ТЭЦ с системой подключена промежуточная п/ст согласно схеме. Рассчитать установившийся режим и определить напряжение на стороне СН подстанции при поддержании напряжения на РУ ВН ТЭЦ 120 кВ.
5. Разработать компоновку ОРУ и выполнить его молниезащиту.
6. Охарактеризовать повреждения и ненормальные режимы двигателей переменного тока СН и применяемые устройства релейной защиты. Как выбрать уставки основной защиты? Критерии успешного самозапуска ЭД СН. Условия необходимости участия ЭД самозапуска.



7. Действия обслуживающего персонала при соблюдении необходимых правил ТБ при работе газовой защиты трансформатора (на сигнал, на отключение).

#### Вариант № 4

Тип	n ген	P <sub>н</sub> ген МВт	РУ ВН					РУ НН			
			нагрузка		система			U <sub>ном</sub> кВ	U <sub>ном</sub> кВ	нагрузка	
			n <sub>вл</sub>	S, МВА	n <sub>вл</sub>	l <sub>вл</sub> , км	S <sub>кз</sub> , МВА			n <sub>вл</sub>	S, МВА
ТЭЦ	6	63	3	60	4	30	2000	110	10	5	10

1. Выбрать и обосновать главную схему станции. Выбрать и обосновать количество и мощность трансформаторов. Оценить надежность электроснабжения собственных нужд.
2. Выбрать и проверить вводный выключатель ВН. Конструкция высоковольтных вводов.
3. Выбрать внешнюю изоляцию воздушной линии, подключенной к РУ ВН станции.
4. Произошло трехфазное КЗ на линии связи с системой вблизи шин ТЭЦ. Какая защита отключит данное повреждение? Какая защита будет резервной?
5. Выбрать сечение ВЛ, подключенной к РУ ВН станции и определить потери мощности в ней в максимальном режиме. Распределение нагрузки на ВЛ считать равномерным.
6. Выбрать типы электродвигателей для работы с характерными механизмами СН электростанций. Рассмотреть условие пуска двигателя ПЭН.
7. Опишите конденсационный цикл ТЭЦ, его назначение, основные элементы.

#### Вариант № 5

Задана ТЭЦ с распреедустройствами напряжением 220 кВ и 10 кВ (генераторное напряжение). На высшем напряжении станция связана с системой С1 двумя линиями длиной 120 км ( $S_{кз\ сисг} = 3200$  МВА) и выдает мощность в удаленную нагрузку, равную  $S_{1\Sigma} = 200$  МВА по четырем линиям. На напряжении 10 кВ по 24 линиям – выдача мощности близлежащим потребителям ( $S_{2\Sigma\ нагр} = 120$  МВА).

1. Дать предложения по количеству и единичной мощности генераторов. Выбрать и обосновать главную схему станции, включая схему РУ НН.
2. Условия выбора и проверки трансформатора тока на РУ ВН. Конструкции изоляции трансформаторов тока, установленных на РУ ВН. Условия их эксплуатации.
3. Порядок выбора заземления РУ ВН, определения импульсного сопротивления
4. Охарактеризуйте повреждения и ненормальные режимы силовых трансформаторов и применяемые устройства РЗА. Какие защиты - основные, какие - резервные?
5. Принцип работы устройства РПН. Типы РПН.
6. Асинхронный режим работы генератора; причины и допустимость работы.
7. Как определяется запас статической устойчивости при работе станции на систему неограниченной мощности?
8. Что такое «напряжение шага»? Какие мероприятия позволяют снизить его величину?

### Вариант № 6

Задана ТЭЦ с распредустройствами напряжением 110 кВ и 10 кВ (генераторное напряжение). На высшем напряжении станция связана с системой С1 четырьмя линиями длиной 80 км ( $S_{кз\text{ сист}}=1000$  МВА) и выдает мощность в удаленную нагрузку, равную  $S_{1\Sigma}=120$  МВА по четырем линиям. На генераторном напряжении по 42 линиям – выдача мощности близлежащим потребителям ( $S_{2\Sigma\text{ нагр}}=150$  МВА).

1. Выбрать число и мощность генераторов и обосновать главную схему станции.
2. Условия выбора проверки разъединителя РУ ВН.
3. Расстановка молниеотводов на ОРУ на примере РУ ВН
4. Охарактеризуйте повреждения и ненормальные режимы двигателей переменного тока и применяемые устройства релейной защиты.
5. Порядок вывода в ремонт линейного разъединителя на РУ ВН.
6. Допустимость работы при несимметричной нагрузке генератора.
7. Оптимизация распределения активной мощности между ТЭС и ГЭС
8. Можно ли группу двигателей, подключенную к одной секции собственных нужд, считать узлом нагрузки? По каким критериям может быть сделана оценка устойчивости их работы?

### Тестовые задания

#### Вариант № 1

1. В технологической схеме ТЭЦ питательные насосы (ПЭНы) необходимы:
  - а) для питания внешней отопительной сети;
  - б) для подачи воды от градирен к турбине;
  - в) для подачи пара в турбину;
  - г) для подачи воды в котел.
2. Схему блока "трансформатор-линия" применяют:
  - а) при 1,2 отходящих линиях на ОРУ ВН электростанции;
  - б) на ГЭС с РУ ВН 500 кВ и выше для экономии выключателей;
  - в) на городских ТЭЦ при невозможности размещения ОРУ ВН на территории станции.
3. Короткозамыкатели на ПС применяются:
  - а) для создания искусственного КЗ;
  - б) для использования вместо выключателя в цепи трансформатора;
  - в) для шунтирования повреждения и облегчения его отключения.
4. Нагрузочная способность проводников открытой установки:
  - а) больше в летнее время из-за отсутствия гололеда на проводах;
  - б) больше в зимнее время из-за лучших условий охлаждения;
  - в) меньше в зимнее время из-за увеличения сопротивления проводов.
5. При расположении жестких шин в ряд электродинамические усилия:
  - а) меньше на средней фазе, т.к. компенсируются воздействия от крайних фаз;
  - б) больше на средней фазе, т.к. создается раскачивающее усилие;
  - в) не зависит от расположения проводника.
6. Электрическая дуга гасится легче:
  - а) в выключателях переменного тока;
  - б) в выключателях постоянного тока;
  - в) независимо от формы тока.
7. Для воздушных выключателей верно, что:
  - а) время отключения меньше, чем у масляных выключателей;
  - б) меньше уровня коммутационных перенапряжений;
  - в) не требуется дополнительных затрат на строительство вспомогательного оборудования.
8. Для приводов выключателей верно, что:
  - а) применение электромагнитного привода связано с большой потребляемой нагрузкой;
  - б) пружинный привод требует много времени на подготовку к работе (завод пружин);
  - в) источником энергии для приводов является аккумуляторная батарея.

9. Отделители в схеме ПС необходимы:
  - а) для отделения поврежденного оборудования, выводимого в ремонт;
  - б) для отделения поврежденного оборудования после работы короткозамыкателя;
  - в) для отделения поврежденного оборудования при отказе короткозамыкателя.
10. Песок в кварцевых предохранителях необходим:
  - а) для защиты корпуса предохранителя при перегорании плавкой вставки;
  - б) для отвода тепла от расплавленной вставки;
  - в) для удлинения дуги при гашении.
11. Разрядники и ОПН в схеме ПС необходимы:
  - а) для снятия статических перенапряжений со сборных шин;
  - б) для защиты оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений;
  - в) для защиты оборудования при КЗ на сборных шинах.
12. Одновитковые трансформаторы тока применяются:
  - а) при больших токах присоединения;
  - б) как встроенные при малых габаритах оборудования;
  - в) как лабораторные для повышения точности измерений.
13. Пятистержневые трансформаторы напряжения применяются:
  - а) при необходимости получения двух разных напряжений на обмотках НН;
  - б) при соединении одной из обмоток в схему разомкнутого треугольника;
  - в) при использовании на напряжении 220 кВ.
14. Схема соединения "открытый треугольник" применяется:
  - а) для измерения трех фазных напряжений с помощью двух однофазных ТН;
  - б) для измерения трех линейных напряжений с помощью двух однофазных ТН;
  - в) для измерения  $3 u_0$ .
15. Трансформатор с ПБВ с диапазоном + 5 % имеет:
  - а) 2 регулировочных отпайки;
  - б) 4 регулировочных отпайки;
  - в) 5 регулировочных отпайки.
16. Термическая стойкость выше:
  - а) для голых шин из-за лучшего охлаждения;
  - б) для изолированных проводников из-за меньшего влияния температуры окружающего воздуха;
  - в) для комплектных токопроводов из-за хорошей теплоизоляции.
17. При одинаковой площади сечения проводника динамические усилия больше:
  - а) для круглых проводников;
  - б) для плоских, поставленных на ребро;
  - в) для плоских, положенных на плоскость;
  - г) для квадратных проводников.
18. Блокировка разъединителей должна обеспечить:
  - а) запрет включения заземляющего ножа при включенном разъединителе;
  - б) запрет включения разъединителя при включенном ЗН;
  - в) запрет отключения разъединителя при включенном выключателе;
  - г) запрет отключения при включенном разъединителе.
19. Номинальный ток защищаемого присоединения:
  - а) должен быть равен току плавления плавкой вставки;
  - б) должен быть больше номинального тока плавкой вставки;
  - в) должен быть меньше номинального тока плавкой вставки.
20. Токоограничивающие реакторы в схеме ПС необходимы:
  - а) для ограничения тока при перегрузке;
  - б) для ограничения тока при КЗ;
  - в) для шунтирования поврежденного оборудования при КЗ.

## Вариант № 2

1. В масляных выключателях гашение эл. дуги эффективно:
  - а) в свободном объеме масла из-за лучших условий охлаждения дуги;
  - б) при поперечном дутье из-за интенсивного теплоотвода;
  - в) в выключателях с любой конструкцией дугогасящей камеры
2. Для вакуумных выключателей верно, что:
  - а) отсутствуют коммутационные перенапряжения;
  - б) мал ход контактной системы;
  - в) дугогасящие камеры не подлежат ремонту.
3. Шинные ТТ применяются:
  - а) для защиты сборных шин;
  - б) при больших рабочих токах присоединения;
  - в) при использовании на первичной обмотке неизолированных шин большого сечения.
4. ТТ должны обеспечить:
  - а) класс точности 3 в рабочем режиме при подключении показывающих приборов к измерительной обмотке;
  - б) класс точности 10 при кз для обмотки исполнения "Р";
  - в) класс точности 0,5 во всех режимах.
5. Создание главной схемы электрических соединений станций заключается в :
  - а) черчении схем РУ;
  - б) определении места в схеме генераторов и трансформаторов;
  - в) выборе генераторов, трансформаторных связей и схем РУ.
6. Количество трансформаторов на подстанциях определяется:
  - а) экономичностью сооружения;
  - б) величиной площадки подстанции;
  - в) надежностью электроснабжения потребителей.
7. Применение холодокатанной стали при изготовлении трансформаторов позволяет:
  - а) уменьшить потери холостого хода;
  - б) уменьшить потери короткого замыкания;
  - в) увеличить сопротивление трансформатора.
8. При протекании магнитного потока поперек прокатки холодокатанной стали:
  - а) увеличивается магнитная индукция;
  - б) снижаются потери холостого хода;
  - в) увеличиваются потери холостого хода.
9. При работе газовой защиты на "сигнал" персонал обязан:
  - а) осмотреть трансформатор;
  - б) после осмотра однократно отключить и включить трансформатор;
  - в) осмотреть и взять пробу газа на горючесть.
10. Наиболее эффективная и простая защита масла трансформатора:
  - а) пленочная;
  - б) с дыханием через осушительный патрон;
  - в) азотная.
11. Изоляция стяжных болтов железа производится для:
  - а) уменьшения вибрации;
  - б) уменьшения шума;
  - в) исключения создания замкнутого проводящего контура вокруг активного железа.
12. Для регулирования напряжения на трансформаторах с ПБВ необходимо:
  - а) сначала снизить нагрузку до 50 % и затем переключать;
  - б) полностью снять нагрузку и переключать;
  - в) снять напряжение с трансформатора и затем переключать.
13. Состояние герметичных вводов трансформаторов контролируется в эксплуатации:
  - а) с помощью специального измерительного вывода;

- б) по величине давления во вводе;
  - в) по отсутствию потрескиваний.
14. Электродинамическая стойкость трансформаторов определяется:
    - а) жесткостью закрепления обмоток;
    - б) прочностью крепления активного железа к днищу;
    - в) прочностью высоковольтных вводов.
  15. Исправность РПН определяют:
    - а) измерив сопротивление на каждой отпайке;
    - б) сняв круговую диаграмму и замерив сопротивление по отпайкам;
    - в) проверив масло в баке РПН на пробу.
  16. Надежность системы охлаждения трансформатора достигается:
    - а) увеличением количества элементов;
    - б) установкой трансформатора на не загроможденной площадке;
    - в) двойным питанием ЭД с АВР.
  17. В зону действия дифференциальной защиты трансформатора входит кроме его самого:
    - а) ошиновка от сборных шин повышенного напряжения;
    - б) отпаечный трансформатор СН;
    - в) все, что между ИТТ дифференциальной защиты.
  18. Нагрев трансформатора перед вскрытием производится для:
    - а) облегчения разборки;
    - б) для удаления влаги из масла;
    - в) для недопущения увлажнения во вскрытом состоянии.
  19. Сушка трансформатора после ремонта производится:
    - а) всегда;
    - б) при пасмурной погоде;
    - в) в зависимости от состояния изоляции.
  20. Регулирование напряжения в узлах энергосистемы производится:
    - а) для создания безопасных условий работы электрооборудования подстанций;
    - б) для поддержания заданного напряжения у токоприемника;
    - в) для а и б.

### Вариант № 3

1. Чрезмерно большие токи КЗ недопустимы потому, что
  - а) перегреваются генераторы при КЗ;
  - б) возникают недопустимые механические нагрузки на изоляторах ЛЭП связи;
  - в) может быть превышена отключающая способность коммутационных аппаратов.
2. Токоограничивающие устройства (ТОУ) различного исполнения применяются для:
  - а) регулирования напряжения у токоприемников в нормальных режимах;
  - б) ограничения перетоков между генерирующими системами;
  - в) ограничения токов КЗ.
3. Устройства продольной компенсации (УПК) играют роль:
  - а) снижают сопротивление ЛЭП;
  - б) работают как ТОУ в момент КЗ;
  - в) а и б.
4. Разземление части нейтралей трансформаторов в системе производится для:
  - а) создания безопасных условий работы обслуживающего персонала;
  - б) поддержания устойчивой работы энергосистемы;
  - в) снижения токов КЗ.
5. Заземление части нейтралей трансформаторов через реакторы, резисторы производится:
  - а) во всех энергосистемах на всех трансформаторах;
  - б) только в момент КЗ;
  - в) в энергосистемах, где недостаточна отключающая способность выключателей.

6. Ограничение ТКЗ в сетях 6,10 кВ обеспечивается:
  - а) автоматическим делением схемы;
  - б) установкой устройств регулирования напряжения;
  - в) установкой реакторов на пути токов КЗ.
7. Неравномерность графиков нагрузки вызывает необходимость:
  - а) принудительно отключать потребителя;
  - б) вводить в работу токоограничивающие устройства;
  - в) регулировать мощность генерирующих.
8. Повышение напряжения на генераторе приводит к:
  - а) увеличению выдачи активной мощности;
  - б) понижению частоты напряжения;
  - в) перегреву активной стали.
9. Звеньевые ТТ применяются:
  - а) для повышения точности измерения больших токов;
  - б) для уменьшения габаритов ТТ при высоком напряжении;
  - в) при исследовании баковых масляных выключателей;
10. В пиковой части графика нагрузки предпочтительно держать:
  - а) ГЭС, как наиболее маневренные станции;
  - б) ТЭЦ, как наиболее неэкономичные;
  - в) ГАЭС, для сработки воды из верхнего бьефа;
  - г) нетрадиционные источники из-за малой единичной мощности агрегатов.
11. Градирни в технологической схеме ТЭС служат:
  - а) для сброса излишков пара с турбины;
  - б) для охлаждения пара на выходе из турбины;
  - в) для охлаждения воды в конденсатора турбины.
12. Каскадные ТН применяются:
  - а) для повышения точности измерения на высоком напряжении;
  - б) для уменьшения габаритов ТН на высоком напряжении;
  - в) уменьшения погрешности.
13. Газ в фибровых предохранителях:
  - а) необходим для ухудшения условий горения дуги;
  - б) необходим для изоляции вставки от корпуса;
  - в) появляется только при горении дуги;
  - г) постоянно поддерживается под давлением.
14. При одинаковой площади сечения проводника динамические усилия больше:
  - а) для круглых проводников;
  - б) для плоских, поставленных на ребро;
  - в) для плоских, положенных на плоскость;
  - г) для квадратных проводников.
15. Блокировка разъединителей должна обеспечить:
  - а) запрет включения заземляющего ножа при включенном разъединителе;
  - б) запрет включения разъединителя при включенном ЗН;
  - в) запрет отключения разъединителя при включенном выключателе;
  - г) запрет отключения при включенном разъединителе.
16. Количество трансформаторов на подстанциях определяется:
  - а) экономичностью сооружения;
  - б) величиной площадки подстанции;
  - в) надежностью электроснабжения потребителей.
17. Номинальный ток защищаемого присоединения:
  - а) должен быть равен току плавления плавкой вставки;
  - б) должен быть больше номинального тока плавкой вставки;
  - в) должен быть меньше номинального тока плавкой вставки.

18. Токоограничивающие реакторы в схеме ПС необходимы:
  - а) для ограничения тока при перегрузке;
  - б) для ограничения тока при КЗ;
  - в) для шунтирования поврежденного оборудования при КЗ.
19. ТТ должны обеспечить:
  - а) класс точности 3 в рабочем режиме при подключении показывающих приборов к измерительной обмотке;
  - б) класс точности 10 при КЗ для обмотки исполнения "Р";
  - в) класс точности 0,5 во всех режимах.
20. Упрощенные схемы 2 блока линия - трансформатор с неавтоматизированной ремонтной перемычкой применяются:
  - а) в сельских сетях при напряжении 35 кВ;
  - б) на промышленных предприятиях при напряжении 110 кВ;
  - в) на подстанциях электроснабжающей сети города.

### **Вопросы для самопроверки при защите курсового проекта**

1. Расскажите об организации и методах проектирования энергетических объектов.
2. Расскажите о типах электрических станций и их особенностях.
3. Какими нормативными материалами пользуются проектировщики?
4. Расскажите о стадиях проектирования электрической станции.
5. Перечислите критерии, используемые для сравнения различных вариантов электроустановки.
6. Перечислите основные требования, предъявляемые к главным схемам электрических соединений станции.
7. Перечислите исходные данные, необходимые для выбора главной схемы.
8. Какую схему следует выбрать для подключения потребителей первой категории?
9. Изложите порядок выбора силовых трансформаторов.
10. В каких случаях применяются автотрансформаторы?
11. Каковы условия выбора и проверки высоковольтных выключателей и разъединителей?
12. В каких случаях используются секционные и линейные реакторы?
13. Изложите порядок выбора линейного реактора.
14. Изложите порядок выбора и проверки сборных шин генераторного напряжения.
15. В каких случаях используются комплектные токопроводы?
16. Каковы условия и порядок выбора кабеля?
17. Изложите основные требования к компоновке и конструкции РУ.
18. В каких случаях сооружаются ЗРУ 35—220 кВ?
19. Перечислите факторы, определяющие тип и конструкцию РУ.
20. Объясните преимущества применения типовых и комплектных РУ.
21. Расскажите о принципах компоновки и конструкции кабельных сооружений, аккумуляторного блока.
22. Как выполняется защита оборудования от внешних и внутренних перенапряжений?
23. Изложите порядок проектирования заземления.
24. Изложите основные принципы организации управления на мощных тепловых станциях.
25. Перечислите факторы, определяющие структуру управления станцией.
26. Как производится выбор источников и схемы оперативного тока?
27. В каких случаях целесообразно использование переменного оперативного тока?
28. Как осуществляется дистанционное управление высоковольтными выключателями и блокировка от неправильных действий?
29. Изложите принципы проектирования измерительной подсистемы?
30. Как проектируются щиты управления?



## Вопросы к экзамену

1. Режимы работы нейтралей в установках напряжением  $< 1$  кВ
2. Режимы работы нейтралей в установках напряжением  $> 1$  кВ
3. Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции.
4. КРМ на подстанциях
5. Назначение, конструкция, прокладка и область применения токопроводов 6-35 кВ.
6. Назначение, конструкция, прокладка и область применения шинопроводов 0,4 кВ.
7. Изоляторы и шины РУ напряжением  $> 1$  кВ
8. Назначение и конструкция разъединителей.
9. Конструкции трансформаторов тока.
10. Измерительные трансформаторы тока: назначение, полярность, схема замещения, режим работы, погрешность.
11. Измерительные трансформаторы напряжения: назначение, схема замещения, режим работы, погрешность.
12. Способы ограничения токов КЗ
13. Вакуумные выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
14. Воздушные выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
15. Масляные выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
16. Элегазовые выключатели: гашение дуги, достоинства, недостатки.
17. Выключатели нагрузки
18. Плавкие предохранители: защитная характеристика, материал плавкой вставки.
19. Автоматические выключатели
20. Короткие замыкание в системах электроснабжения напряжением выше 1 кВ
21. Короткие замыкание в системах электроснабжения напряжением до 1 кВ
22. Электродинамическое действие тока к.з.: влияние расположения проводников, их форма, методика проверки на электродинамическую стойкость.
23. Нагрев проводников в нормальном режиме и при коротком замыкании.
24. Термическая стойкость проводников и аппаратов при коротком замыкании.
25. Импульс квадратичного тока, определение конечной температуры нагрева проводников при коротком замыкании.
26. Электрическая дуга: факторы, способствующие и препятствующие горению.
27. Гашение дуги в выключателях постоянного тока.
28. Гашение дуги переменного тока.
29. Выбор и проверка выключателей.
30. Выбор и проверка предохранителей.
31. Выбор и проверка автоматических выключателей
32. Выбор и проверка разъединителей.
33. Выбор и проверка токоограничивающих реакторов.
34. Выбор и проверка трансформаторов напряжения.
35. Выбор и проверка трансформаторов тока.
36. Выбор и проверка шин и изоляторов
37. Выбор и проверка кабелей
38. Выбор и проверка проводов
39. Выбор и проверка кабелей и проводов до 1 кВ с учетом выбора защиты
40. Принципы выбора схем подстанций
41. Установка заземляющих ножей и оперативные блокировки
42. Схемы ГПП и ПГВ 35-220 кВ.
43. Присоединение РУ напряжением 6-10 кВ к понижающим трансформаторам
44. Схемы с двумя системами шин.
45. Схемы РП напряжением выше 1 кВ
46. Схемы ТП 6-10/0,4 кВ.

47. Схемы РП напряжением до 1 кВ
48. Комплектные РУ напряжением выше 1 кВ
49. Комплектные РУ напряжением до 1 кВ
50. Конструктивное исполнение РУ напряжением 6-10 кВ
51. Конструктивное исполнение РУ напряжением 35-220 кВ
52. Схемы эл.сетей напряжением  $> 1$  кВ
53. Схемы эл.сетей напряжением  $< 1$  кВ
54. Конструктивное выполнение электрических сетей.
55. Воздушные линии: общие сведения, провода ВЛ, изоляторы, опоры.
56. Кабельные линии: конструкция, способы прокладки.
57. Конструктивное исполнение цеховых сетей напряжением до 1 кВ. Общие сведения.
58. Электропроводки.
59. Силовые трансформаторы.
60. Допустимые нагрузки кабелей 6-35 кВ.
61. Допустимые нагрузки кабелей 0,4 кВ.
62. Выбор сечений жил кабеля напряжением выше 1 кВ.
63. Выбор сечений жил кабеля напряжением до 1 кВ
64. Допустимые нагрузки на неизолированные провода.
65. Выбор сечений изолированных (неизолированных) проводов ВЛ напряжением до 1 кВ.
66. Выбор сечений изолированных (неизолированных) проводов ВЛ напряжением выше 1 кВ

## Список использованной литературы

1. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Электрическая часть станций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.
2. Г.Н. Ополева. Схемы и подстанции электроснабжения / Справочник. – М.: ФОРУМ - ИНФРА-М. 2006.
3. Наумов И.В., Подъячих С.В., Шпак Д.А., Борщенко К.А. Мультимедийный учебник "Электроснабжение сельского хозяйства". ИрГСХА, 2005.
4. Коваленко В.В., Ивашина А.В., Нагорный А.В., Кравцов А.В. Электроснабжение сельского хозяйства. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – СтГАУ, АГРУС, 2004.
5. Рожкова Л.Д., Корнеева Л.К. Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций.- М.: Академия, 2004.
6. ГОСТ 28249-93(2003). Короткие замыкания в электроустановках переменного напряжения до 1 кВ. – М.: Изд-во меж. гос. стандарт, 2003.
7. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2003.
8. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией. Под редакцией Ю.И. Вишневого. Издательство СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург, 2002г. 728 с.
9. Ю.В. Мясоедов, Н.В. Савина, А.Г. Ротачева. Проектирование электрической части электростанций и подстанций. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2002.
10. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Мастерство, 2002.
11. Электротехнический справочник. Том 3, книга 1. М: Энергоатомиздат. 2002г., 878 с.
12. С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров. Городские электрические сети.: Учеб. пособие для спец. 100400. - Ростов-на-Дону, 2001. 256 с.
13. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: Изд-во ЭНАС. – 2000.
14. Ю.В. Мясоедов, Н.В.Савина, А.Н.Козлов Автоматизация в курсовом и дипломном проектировании. Благовещенск, 2000.
15. Савина Н.В., Мясоедов Ю.В., Дудченко Л.Н. Электрические сети в примерах и расчетах: Учебное пособие, изд. АмГУ 1999, 238 с.
16. ГОСТ 13109-97. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. М.: Изд-во стандартов. 1998.
17. Сборник задач и упражнений по электрической части электростанций и подстанций. Издательство МЭИ., М. 1996г. - 254с.
18. Мохов В.Б., Бирило И.А. Методические указания к курсовому проектированию. «Районная электрическая сеть» - Благовещенск, 1993.
19. ГОСТ Р 50270-92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. - М.: Изд-во стандартов, 1993.

20. ГОСТ Р 50254-92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. — М.: Изд-во стандартов, 1993.
21. ГОСТ 29176-91. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока. - М.: Изд-во стандартов, 1992.
22. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. Минтопэнерго РФ. М.: Энергосетьпроект, 1991.
23. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
24. Справочник по проектированию электроснабжения. / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
25. Методические указания к курсовому проектированию по курсу "Электрическая часть станций и подстанций". М.: ЖдМИ, 1990.
26. Нормы технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения. НТПС-88.
27. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. - М.: Изд-во стандартов, 1988.
28. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
29. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1986.
30. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под ред. А.А.Фёдорова. М.: Энергоатомиздат, 1986.
31. ГОСТ 26522-85. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1985.
32. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
33. Двоскин Л.И. Схемы и конструкции распределительных устройств.–М.: Энергоатомиздат, 1985.
34. Гук Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1985.
35. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М: Энергоатомиздат, 1985г., 704 с.
36. Федосеев А.М. Релейная защиты электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
37. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергия, 1980.
38. Усов С.В. Электрическая часть электрических станций. М.: Энергия, 1977.

## Приложение

### Рекомендации по замене трансформаторов тока

Тип заменяемого трансформатора	Тип замещающего трансформатора
ТК-20; ТК-40; Т-0,66; ТШ-0,66; ТК-120	ТОП-0,66; ТПШ-0,66
ТЗЛМ-1	ТЗЛ-1
ТПЛ-10; ТВК-10; ТПК-10; ТЛМ-10	ТОЛ-10
ТВЛМ-6; ТВЛМ-10; ТПЛМ-10	ТОЛ-10
ТОЛ-10	ТОЛ-10-1
ТВЛМ-6	ТОЛК-6
ТПШЛ-10	ТЛШ-10
ТГЮЛ-20	ТПЛ-20
ТФЗМ-35	ТОЛ-35Б

### Технические характеристики трансформаторов тока

Класс напряжения	Тип	U, кВ	I <sub>н</sub> , А	I <sub>н2</sub> , А
До 1 кВ	ТШЛ	0,66	2000-5000	5
	ТНШЛ	0,66	800-10000	5
	ТНШ	0,66	15000-25000	5
	ТЗЛМ	0,66		5
	ТЗРЛ	0,66		5
	ТОП	0,66	5-200	5
6-10 кВ	ТОЛ	10	150-1500	5
	ТОЛ-1	10	30-1500	5
	ТОЛК	6; 10	50-600	5
	ТПОЛ	10	600-1500	5
	ТШЛ	10	1000-5000	5
	ТЛШ	10	2000-5000	5
	ТЛ-1	10	300-3000-	2,5; 5
	ТПЛК	10	10-1500	2,5; 5
	ТПШЛ	10	4000-5000	5
	ТВ10-1	10	6000	5
20-35 кВ	ТПЛ-20	20		5
	ТШЛ-20	20		5
	ТЛК	35	200-3000	5
	ТВ-35-1	35	200-1500	5
	ТВ-35-2	35	150-600	5
	ТВ-35-3	35	200-1500	5
	ТВ-35-4	35	1200-3000	1,5
	ТВ-35-5	35	30-2000	5
110 кВ	ТВ-110-1	110	200-1000	5
	ТВ-110-2	110	200-2000	5
220 кВ	ТВ-220-1	220	600-2000	5
	ТВ-220-2	220	1200-3000	1,5; 5

## Технические данные трансформаторов ТГФ

Наименование параметра	Тип трансформатора	
	1ГФ-110	ТГФ-220
Номинальное напряжение, кВ	110	220
Номинальная частота, Гц	50, 60	
Номинальный первичный ток, А (варианты исполнения)	100, 150, 200, 300, 400, 600, 750, 1000, 1500, 2000	600 – 1200, 750 - 1500, 1000 – 2000, 1500 - 3000
Номинальный вторичный ток, А	1 или 5	
Кол-во вторичных обмоток: измерения, защиты	1, 3 или 4	
Номинальный класс точности вторичных обмоток: для измерений, для защиты	0,2 (0,5) 10Р	
Номинальная вторичная нагрузка, ВА	20, 30, 60	
Номинальная предельная кратность	20, 30	
Ток электродинамической стойкости, кА	45-170	125-150
Ток термической стойкости, кА	16-60	50-60
Время протекания тока термической стойкости, с	3	
Удельная длина пути утечки, см / кВ	2,25	
Климатическое исполнение	У, УХЛ	
Изолирующая среда	SF <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub> или SF <sub>6</sub> + N <sub>2</sub>
Утечка газа в год, % от массы, не более	1	
Масса трансформатора, кг	570	850
Срок службы, лет	25	

## Технические характеристики трансформаторов тока серии ТФМ

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	
		первичной	вторичной
ТФМ-35-П-У1	35	15; 30; 50; 100 200; 300; 400	5
		500; 600 750; 1000	
		1200; 1500 2000	
		3000	
ТФМ - 110 - П - У1	110	100; 200; 300 400; 600; 1200	1;5
		750; 1500	
ТФМ-110-П-И-У1	110	100; 200; 300 400; 600; 1200	5
		750; 1500	
ТФМ-220-11-У1 (УХЛ, Т1)	220	2x(300; 400; 500; 600 750; 1000) 3000; 4000	1,5
ТФМ – 330 – П - У1 (УХЛ1,Т1)	330	2x(300; 400; 500; 600 750; 1000) 3000; 4000	1,5
ТФМ – 500 – П – У1 (УХЛ1, Т1)	500	2x(500; 750; 1000); 3000; 4000	1,5
ДТФ-35-И-У1*	35	2x100	2x2,5

\* - для трансформаторов на номинальные токи 100-200

Тип	Число вторичных обмоток	Номинальная вторичная нагрузка при $\cos\varphi=0,8$ ВА, в классах точности			
		0,2	0,5	5Р	10Р
ТФМ-35-II - У1	3	-	30	20	20
ТФМ - 110 – II - У1	4	-	30	20	30*, 40
ТФМ-110-II-I-У1	5	-	30	20	30*, 40
ТФМ-220-II-У1 (УХЛ1,Т1)	4	30	-	30	40
ТФМ-330-II-У1 (УХЛ1.Т1)	5	30	-	30	40
ТФМ-500-II-У1 (УХЛ1.Т1)	5	30	-	30	40
ЛТФ-35-II-У1*	3	20			

### Взаимозаменяемость трансформаторов напряжения

Типменяемого трансформатора	Тип замещающего трансформатора
НОМ-6	НОЛ.08-6
НОМ-10	НОЛ.08-10
НТМК-6; НТМИ-6; НАМИ-6	ЗНОЛ.06-6 или 3хЗНОЛ.06-6 - 1 шт
НТМК-10; НТМИ-10; НАМИТ-10	ЗНОЛ.06-10 или 3хЗНОЛ.06-10- 1 шт
ОСБ-0,2	НОЛ. 12-0,38
ЗНОМ-15	ЗНОЛ.06-15
ЗНОМ-24	ЗНОЛ.06-24
ЗНОМ-35	ЗНОЛЭ-35
НКФ 110-330	НАМИ 110-330, НДЕ 110-330
НКФ 500	НДЕ или зарубежные аналоги

### Технические данные трансформаторов 3хНОЛ.06

Параметры	3хНОЛ.06-6	3хНОЛ.06-10
Класс напряжения, кВ	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2	12
Номинальное линейное напряжение на выводах первичной обмотки, В	6000, 6300 6600, 6900	10000, 11000
Номинальное линейное напряжение на выводах основной вторичной обмотки, В	100	
Напряжение на выводах разомкнутого треугольника дополнительных вторичных обмоток: при симметричном режиме работы сети, В, не более при замыкании одной из фаз сети на землю, В	3 от 90 до 100	
Мощность нагрузки на выводах разомкнутого треугольника дополнительной вторичной обмотки при напряжении 100 В и коэффициенте мощности нагрузки 0.8 (характер нагрузки индуктивный), ВИА	200	300
Масса, кг	93	99
Сопротивление резисторов, Ом	1000	800
Мощность резисторов, Вт.	300	300

## Технические данные трансформатора напряжения НОЛ.08

Наименование параметра	Нормы для типов		
	НОЛ.08-6УТ	НОЛ .08-ШУТ	
Класс напряжения, кВ	3	6	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	3000	6000	10000
	3300	6300	11000
		6600	
Номинальное напряжение вторичной обмотки, В	100 или 110		
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Номинальная мощность, ВА. в классе точности 0.2	15	30	50
	30	50	75
	50	75	150
	75	200	300
	150	400	630
Предельная мощность вне класса точности, ВА	150	400	630
Группа соединения обмоток	1/1-0		
Испытательное напряжение, кВ: одноминутное грозового импульса	32	60	42
			75
Масса, кг	26,5±1,5		28,5±1,5

## Технические данные трансформатора ЭНОЛЭ-35

Параметр	Значение параметра
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	35 000/ $\sqrt{3}$
Номинальное напряжение основной вторичной обмотки, В	100/ $\sqrt{3}$
Номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки. В	100/3
Номинальная мощность основной вторичной обмотки (ВЧА) в классах точности: 0,5 – 1 – 3	150 – 300 – 600
Номинальная мощность дополнительной вторичной обмотки в классе точности 3, ВЧА	100/3
Предельная мощность вне класса точности, ВА	1000
Схема II группа соединения обмоток	1/1/1-0-0
Номинальная частота, Гц	50
Испытательное напряжение, кВ одноминутное промышленной частоты грозового импульса	95 – 220
Масса, кг	60



### Технические характеристики трансформаторов напряжения ЗНОЛ-35Б

Параметр	Значение параметра при номинальном напряжении первичной обмотки, кВ		
	35/√3	27,5	27,5
Номинальное напряжение первичной обмотки, В	35/√3	27,5	27,5
Номинальное напряжение основной вторичной обмотки, В	100/√3	100	100-127-230
Номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки, В	100/3	127	
Номинальная мощность основной / вторичной обмотки, ВА в классе точности: 0,5 1 3	150 300 600	150 300 600	150 300 600
Номинальная мощность дополнительной вторичной обмотки, ВА, в классе точности 3	100/3	400 (вне класса точности)	
Предельная мощность вне класса точности, ВА	1000	1000	1000
Схема и группа соединения обмоток	1/1/1-0-0	1/1/1-0-0	1/1-0
Номинальная частота, Гц	50 или 60		
Вид изоляции	литая		
Испытательное напряжение, кВ: одноминутное промышл. частоты грозового импульса	95 200	80 170	80 170
Масса, кг	110		

### Технические характеристики трансформаторов напряжения серии НОМ и ЗНОМ

Тип	Номинальное напряжение		Масса, кг	
	обмотка ВН, кВ	обмотка НН, В		
		Основная.	Дополн.	
НОМ-6-77УХЛ4 (04)	6,6; 6,3; 6,0; 3,15; 3,0 .	100	-	23 (24)
НОМ-10-66У2 (Т2)	11; 10,5; 10	100	-	31 (32)
НОМ-15-77УХЛ4 (04)	18; 15,75; 15; 13,8	100	-	77
НОМ-35-66У1 (Т1)	20; 35	100	-	92
ЗНОМ-15-63У2 (Т2)	15,75/√3; 15/√3; 13,8/√3; 11/√3; 10,5/√3; 10/√3	100/√3	100/3	64
ЗНОМ-20-63У2 (Т2)	20/√3; 18/√3	100/√3	100/3	85
ЗНОМ-24-63У2 (Т1)	24/√3	100/√3	100/3	110
ЗНОМ-3565-У1(Т1)	27,5/√3 35/√3 33/√3	100 100/√3 100/√3	127 100/3 100/3	82
НФА-35У1 (Т1.ХЛ1)*	35/√3	100/√3	100/3	170

\* -антирезонанстный

\*\* - для номинальных напряжений обмотки ВН: 6,6/√3; 6,3/√3; 6,0/√3 кВ

\*\*\* - для номинальных напряжений обмотки ВН: 3,15; 3,0 кВ

## Технические характеристики трансформаторов типа НАМИ

Тип трансформатора	Номинальное напряжение, кВ		Номинальная мощность в классе, ВА			Удельная длина пути утечки тока, см/кВ
	ВН	НН	0,5	1,0	3,0	
НАМИ 220	220/√3	0,1/√3 ;0,1	400	600	1200	2,25
НАМИ 330	330/√3	0,1/√3 ;0,1	320	500	1200	2,25

## Технические характеристики трансформатора напряжения серии НКФ

Тип	Номинальное напряжение			Масса, кг
	первичное, кВ	вторичных обмоток, В		
		основная	дополнит.	
НКФ-66-75VI(T1)	66/√3	100/√3	100	545
НКО-66-76VI(T1)	66/√3	100/√3	100/3*	580
НКФ-110-57VI	110/√3	100/√3	100	630
НКФ-110-58VI (T1)	110/√3	100/√3	100/3*	800
НКФ-110-99VI**	110/√3	100/√3	100	450
НКФ-132-73 VI (T1)	132/√3	100/√3	100	780
НКФ-220-58VI(T1)	220/√3;150/√3	100/√3	100	1295
НКФ-330-73VI(T1)	330/√3	100/√3	100	2125
Тип	Мощность в классах точности, ВА			Длина x ширина x высота, мм
	0,5	1	3	
НКФ-66-75VI (T1)	400	600	1200	622 x 632 x 1605
НКФ-66-76VI (T1)	400	600	1200	622 x 632 x 1605
НКФ-110-57VI	400	600	1200	622x632x1790
НКФ-110-58VI	400	600	1200	622x632x2170
НКФ-110-99VI(T1) **	400	600	1200	500x555x2110
НКФ-132-73VI(T1)	400	600	1200	622x632x2170
НКФ-220-58VI	400	600	1200	622x632x3520
НКФ-330-73VI	400	600	1200	1274x1274x 5330
НКФ-400-65VI(T1)	400	500	1000	1850x1850x 7140
НКФ-500-78VI	400	500	1000	1850x1850x 7140

\* - для сетей с изолированной нейтралью

\*\* - в стадии разработки (антирезонанстный)

## Технические характеристики трансформатора напряжения серии НДЕ

Тип	Номинальное напряжение			Масса, кг	Длина x ширина x высота, мм	
	первичное, кВ	вторичн. обмоток, кВ				
		основная	дополнит			
НДЕ-110-99 VI (Т1)	110/√3	110/√3	100	600	554 x 634 x 1770	
НДЕ-220-99 VI (Т1)	220/√3	110/√3	100	780	554x634x2850	
НДЕ-500-72 VI	500/√3	110/√3	100	3120		
НДЕ-750-72 VI	750/√3	110/√3	100	3870		
НДЕ-1150-78 VI	1150/√3	110/√3	100	6850		
Тип	Мощность в классах точности, В А					
	0,2	0,5	1	3	3Р	6Р
НДЕ-110-99VI (Т1)	100	150	200	400	400	600
НДЕ-220-99 VI (Т1)	100	150	200	400	400	600
НДЕ-500-72 VI	-	300	500	1000	-	-
НДЕ-750-72 VI	-	300	500	1000	-	-
НДЕ-1150-78VI	-	300	300	600	-	-

## Основные параметры трансформаторов

Параметр	Тип трансформатора			
	СРА123 СРВ123	СРА145 СРВ 145	СРА170 СРВ 170	СРА245 СРВ245
Номинальное линейное напряжение сети, кВ	110	110	150	220
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ	126	145	172	252
Номинальная частота, Гц	50			
Напряжение обмоток, первичной, кВ	110/√3	110/√3	150/√3	220/√3
вторичной, В	100/√3	100/√3	100/√3	100/√3
	100	100	100	100
Номинальная емкость фаза-земля (+10;-5%), пкФ	14300	12700	10500	7400
Число модулей делителя напряжения, шт	1			
Длина пути утечки внешней изоляции, мм	3160	3880	4600	6510
Уровень частичных разрядов, пК / при спряжении, кВ	10/92	10/92	10/108	10/156

## Трансформаторы напряжения НАМИ на напряжение 6 и 10 кВ

Тип	Номинальное напряжение			Класс точности	
	обмотка ВН, кВ		обмотка НН, В		
			основная		допол.
НАМИ-10-У2	6,0; 10,0		100	110/√3	0,2
НАМИ-10-ХЛ2	6,0; 10,0		100	110/√3	0,2
НАМИ-10-Т2	6,0; 10,0		100	110/√3	0,2
Тип	Мощность вторичных обмоток, ВА		Масса, кг	Длина x ширина x высота; мм	
	основных	дополнит.			
НАМИ-10-У 2	75	30	110	482 x 353 x 635	
НАМИ-10-ХЛ2, УХЛ2	75	30	110	482 x 353 x 635	
НАМИ-10-Т2	75	30	112	482 x 353 x 635	

### Технические характеристики трансформатора НАМИ – 35

Тип трансформатора	Номинальное напряжение обмоток, В		Частота питающей сети, Гц	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	ВН	НН			
НАМИ – 35	35	0,1	50 – 60	110x620x800	250

### Технические характеристики трансформаторов напряжения ЗНОМ-110

Номинальное напряжение, кВ		Номинальная мощность в классе, ВА			Удельная длина пути утечки тока. см/кВ	Габаритные размеры, мм	Масса кг
ВН	НН	0,5	1,0	3,0			
110/√3	1,0/√3; 0,1	400-560	600-800	1200	1,75-2,25	650x450x1000 600x590x1950	350

### Технические характеристики трансформатора тока ТОЛ 10 – 1

Номинальный первичный ток, А	5,10,15,20,30,50,75,80, 100,150,200,300,400, 500, 600,750, 800,1000, 1200, 1500	30, 40, 50, 75, 80, 100,150	100, 150, 200
Номинальный вторичный ток, А	5		
Число вторичных обмоток	2		
Номинальный класс точности вторичной обмотки: для измерений; для защиты	0,5 или 1; 10P		
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos(\varphi)$ 0,8 вторичных обмоток для измерений и защиты, ВА	10		
	5		
Номинальная предельная кратность вторичной обмотки для защиты, не менее	10		
Односекундный ток термической стойкости, кА, при номинальном первичном токе, А, соответственно			
5,10,15,20	0,4; 0,78; 1,2; 1,56; 2,5;	3,2; 4,3; 8	31,5
30,40,50	3,0; 5	20; 20; 20	
75,80, 100	5,85; 6,23; 10	20	
150	12,5		
200	20		
300-400	31,5		
500-1500	40		
Испытательное напряжение, кВ: одноминутное промышленной частоты грозового импульса	42		
	75		

### Технические данные трансформаторов тока ТШЛ-20

Параметр	Значения параметра
Номинальное напряжение, кВ	20
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	24
Номинальная частота переменного тока, Гц	50, 60*
Номинальный первичный ток, А	6000, 8000, 10000
Номинальный вторичный ток, А	5
Число вторичных обмоток	2
Номинальный класс точности:	
вторичной обмотки для измерений**	0,2; 0,5 или 10P
вторичной обмотки для защиты	10P
Номинальная вторичная нагрузка при коэффициенте мощности $\cos(\varphi)=0,8$ вторичных обмоток для измерений и защиты, ВА	30
Номинальная предельная кратность вторичной обмотки для защиты, не менее, при номинальном первичном токе, А:	
6000	16
8000	14
110000	12
Испытательное напряжение, кВ:	
одноминутное промышленной частоты	65
грозового импульса	125
Масса, кг	85

\* - только для экспортных поставок; \*\* - В соответствии с заказом отдельные исполнения могут поставляться класса точности 0,2S или 0,5S; В соответствии с заказом могут поставляться трансформаторы с номинальным вторичным током 1А

### Технические данные трансформаторов тока типа ТШЛ-10

Параметр	Значение параметра
1	2
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный первичный ток, А:	
ТШЛП 10	1000, 2000
ТШЛ 10	2000, 3000, 4000, 5000
ТШЛПК 10	1000, 2000
ТШЛК 10	2000, 3000, 4000, 5000
Наибольший рабочий первичный ток, А:	
ТШЛП 10	1000,2000
ТШЛ 10	2000, 3200, 4000, 5000
ТШЛПК 10	1000, 2000
ТШЛК 10	2000, 3200, 4000, 5000
Номинальный вторичный ток, А	5
Количество вторичных обмоток	
Номинальный класс точности обмотки для измерений*	0,5
Номинальный класс точности обмотки для защиты	10P
Номинальная предельная кратность обмотки для защиты	25
Номинальная вторичная нагрузка обмотки для измерений при $\cos(\varphi) = 0.8$ , ВА:	20
Номинальная вторичная нагрузка обмотки для защиты при $\cos(\varphi) = 0,8$ ВА:	30
Кратность трехсекундного тока термической стойкости	35
Номинальная частота, Гц	50
Испытательное напряжение, кВ:	
одноминутное промышленной частоты	42
грозового импульса	75

В соответствии с заказом отдельные исполнения могут поставляться класса точности 0,2S или 0,5S

В соответствии с заказом могут поставляться трансформаторы с номинальным вторичным током 1А

### Технические характеристики трансформатора тока ТОЛ 35

Наименование параметра	Норма для исполнения трансформатора		
	ТОЛ 35Б- I	ТОЛ 35Б- II	ТОЛ 35Б- III
Номинальный первичный ток, А	15,20,30,40,50, 75,100,150,200, 300, 400, 600, 800,1000, 1500, 2000	15,20,30,40, 50, 75, 100, 150,200,300, 400, 600, 800, 1000	500,1000, 2000, 3000
Номинальный вторичный ток, А	5	5	5 или 1
Число вторичных обмоток, шт.	2	3	3
Номинальный класс точности: вторичной обмотки для измерений* обмотки для защиты	0,5  10P	  10P/10P	10P/10P
Номинальная нагрузка вторичной обмотки при $\cos(\varphi)=0,8$ , ВА: для измерений	50	30	30
для защиты	20	30	50
Номинальная предельная кратность обмоток для защиты	28	20	IS
Трехсекундный ток термической стойкости, кА	0,6 - 37	0,7 - 55	49-57
Ток электродинамич. стойкости, кА	3-134	3-141	125 -145

\* - В соответствии с заказом отдельные исполнения могут поставляться класса точности 0,2S или 0,5S  
В соответствии с заказом могут поставляться трансформаторы с номинальным вторичным током 1А

### Технические данные трансформаторов тока ТПЛ 20 и ТПЛ 35

Параметр	Значение параметра для	
	ТПЛ 20	ТПЛ 35
Номинальное напряжение, кВ	20	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	24	40,5
Номинальная частота, Гц	50; 60	
Номинальный первичный ток, А*	300; 400; 600; 800; 1000; 1500	
Наибольший рабочий первичный ток, А	320; 400; 630; 800; 1000; 1600	
Номинальный вторичный ток, А	5	
Количество вторичных обмоток	2	
Номинальная вторичная нагрузка при $\cos \varphi=0,8$ , ВА обмотки для измерений / обмотки для защиты	20 / 20	
Номинальный класс точности вторичной обмотки при номинальном первичном токе, А**:		
300	1	
400	0,5 или 1	
600-1500	0,5	
для защиты	10	
Испытательное напряжение, кВ: одноминутное, промышленной частоты грозового импульса	65 125	95 220

\* - Может поставляться на ток 2000А

\*\* - - В соответствии с заказом отдельные исполнения могут поставляться класса точности 0,2S или 0,5S  
В соответствии с заказом могут поставляться на номинальный ток

1А

### Технические характеристики трансформатора тока ТЛК-35

Параметр	Значения параметра
Номинальное напряжение, кВ	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	0,5
Номинальная частота, Гц	50
Номинальный первичный ток, А	50 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000 200, 320, 400, 630, 800, 1000, 1600, 2000 3200
Число вторичных обмоток, шт. для измерений (№1) для защиты (№2)	2 1 1
Номинальный класс точности при номинальной первичном токе: обмотки №1 *: от 200 до 1000 А 1500, 2000, 3000 А обмотки №2: от 200 до 1500 А 2000 А 3000 А	0,5 или 1 0,5 10P  5P 10P
Номинальная вторичная нагрузка с коэффициентом мощности $\cos(\varphi) = 0,8$ , ВА при номинальном вторичном токе: обмотки №1: 200 до 1000 А в классе точности 0,5 в классе точности 1 1500 А, 2000 А, 3000 А в классе точности 0,5 обмотки №2: от 200 до 1000 А, 2000 А, 3000 А 1500 А	10 15 15  15 30
Номинальная предельная кратность обмотки №2 при номинальном первичном токе: от 200 до 1500 А, 3000 А в классе точности 10 P 2000 А в классе точности 5 P	10 12
Трехсекундный ток термической стойкости, кА, не менее, при номинальном первичном токе: от 200 до 1000 А 1500 А, 2000 А 3000 А	31,5 50 100
Ток электродинамической стойкости, кА, при номинальном первичном токе: от 20 до 1000 А 1500 А, 2000 А 3000 А	80 125 250
Масса, кг, при номинальном первичном токе от 200 до 1500 А	$50 \pm 2,5$



## Технические характеристики трансформаторов тока ТГ

Параметр	Значение		
	TG145	TG170	TG245
Номинальное напряжение сети, кВ	110	150	220
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126	172	252
Номинальные первичные токи, А	300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000; 3000		300; 500; 600; 1000; 1200; 2000
Номинальный вторичный ток, А	5 или 1 А		
Ток термической стойкости, кА			
1-секундный	31,5; 40		31,5; 50
3-секундный	20		
Ток электродинамической стойкости, кА	80; 100		80; 125
Испытательные напряжения: грозovým импульсом ,2/50 мкс, кВ	550	650	900
одноминутное пром. частоты, кВ	230	300	440
Число вторичных обмоток, из них: для измерений	4		
для защиты	1		
	3		
Номинальный коэффициент безопасности приборов обмотки для измерений	10		
Номинальная предельная кратность обмоток для защиты	20	20	20
Рабочее давление газа при 20°C, Мпа (абсолютное значение)	0,38		
Удельная длина пути утечки внешней изоляции, см/кВ	2,25 или 2,5		
Материал изолятора	силикон или фарфор		Фарфор
Диапазон рабочих температур, °С	- 60 до + 4		

## Номинальная вторичная нагрузка трансформаторов тока

Назначение и обозначение вторичной обмотки	Номинальная вторичная нагрузка, ВА при $\cos(\varphi) = 0,8$ и класс точности		
	TG145 и TG170		TG245
	1 вариант	2 вариант	
Для измерений. 1И1-1И2, нагрузка/класс точности	20 / 0,2 или 30 / 0,5		20 / 0,2
Для защиты: 2И1-2И2. нагрузка/класс точности	20 / 5P	30 / 10P	1 20 / 10P
3И1-3И2, нагрузка/класс точности	30 / 10P	30 / 10P	20 / 10P
4И1-4И2. нагрузка/класс точности	40 / 10P	30 / 10P	20 / 10P

## Элегазовые выключатели типа ВГУ

Параметр	Значение параметра для выключателей типа				
	ВГУ-110	ВГУ-220	ВГУ-330Б	ВГУ-500Б	ВГУ-750
Номинальное напряжение, кВ	110	220	330	500	750
Номинальный ток, А	2000;3150	3150	3150	3150	3150
Номинальный ток отключения, кА	40	45	40	40	40
Нормированное содержание аperiодической составляющей, %	47	47	47	47	47
Ток электродинамической стойкости, кА	102	150	102	102	102
Термическая стойкость, кА/с	40/2	50/2	40/3	40/3	40/3
Собственное время отключения, с	0,025	0,027	0,025	0,025	0,025
Полное время отключения, с	0,055	0,055	0,05	0,05	0,05
Собственное время включения, с	0,12	0,12	0,1	0,1	0,1
Избыточное давление элегаза, МПа, при 20 °С	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Избыточное давление сжатого воздуха в приводе выключателя, МПа	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Ресурс по механической стойкости, циклов включение—отключение	5000	3000	5000	5000	5000
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения:					
при токах $I=(0,6-1,0)I_{откл.ном}$ при	20	15	20	20	20
токах $I=(0,3-0,6)I_{откл.ном}$	34	22	34	34	34
при токах $I = I_{ном}$	3000	3000	3000	3000	3000
Срок службы, лет	25	25	25	25	25

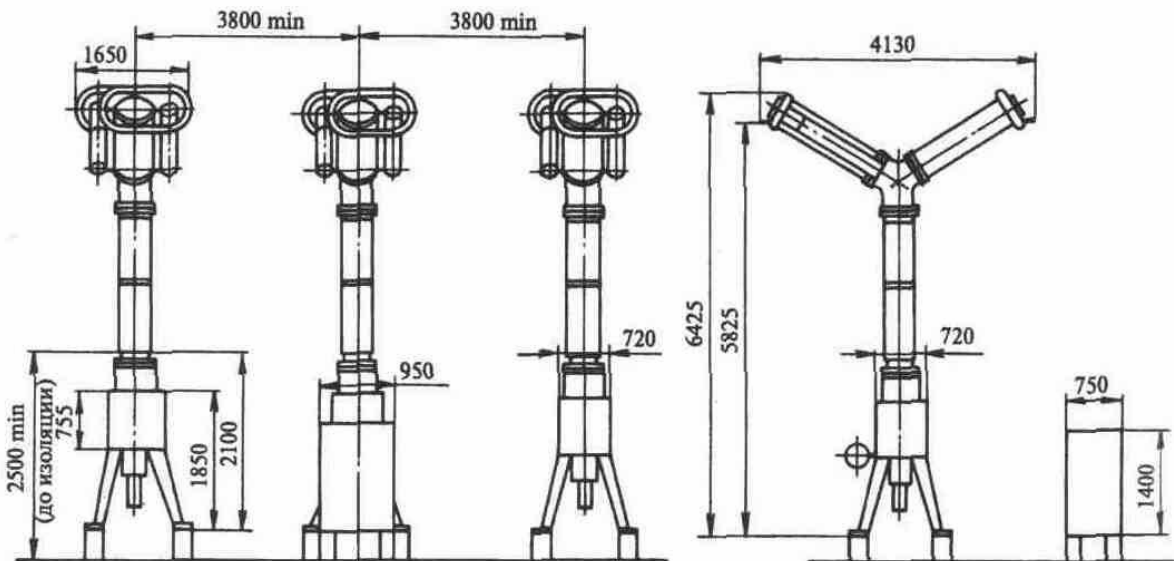
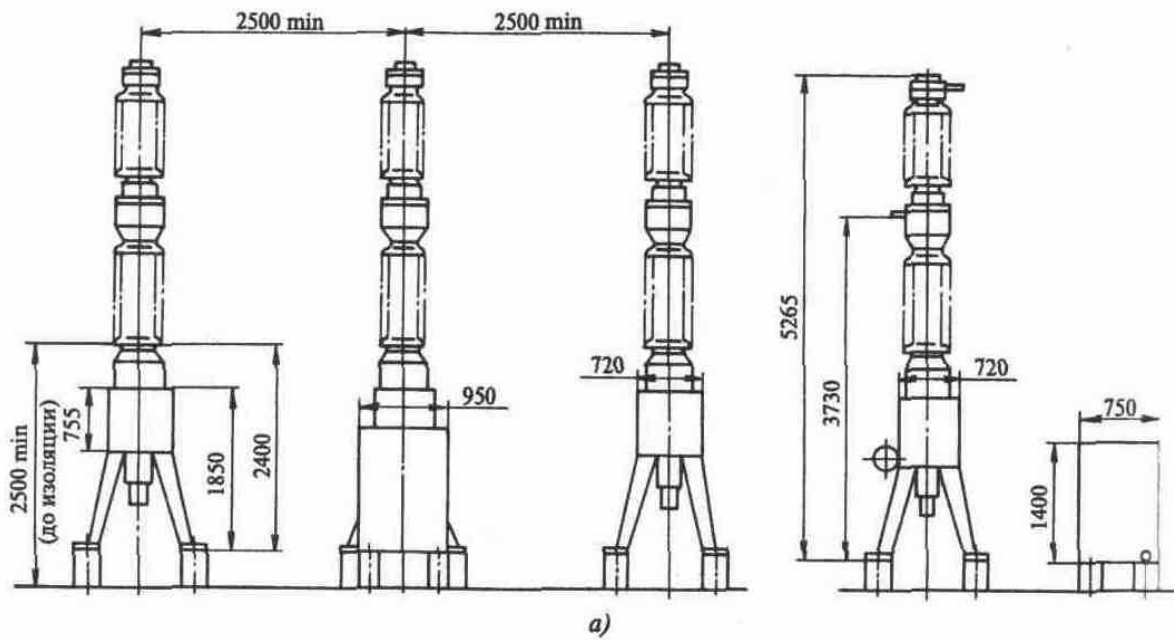


Рис. П4.1. Выключатель типа ВГУ на напряжение:  
 а — 110 кВ; б — 220 кВ; в — 330 кВ; г — 500 кВ; д — 750 кВ

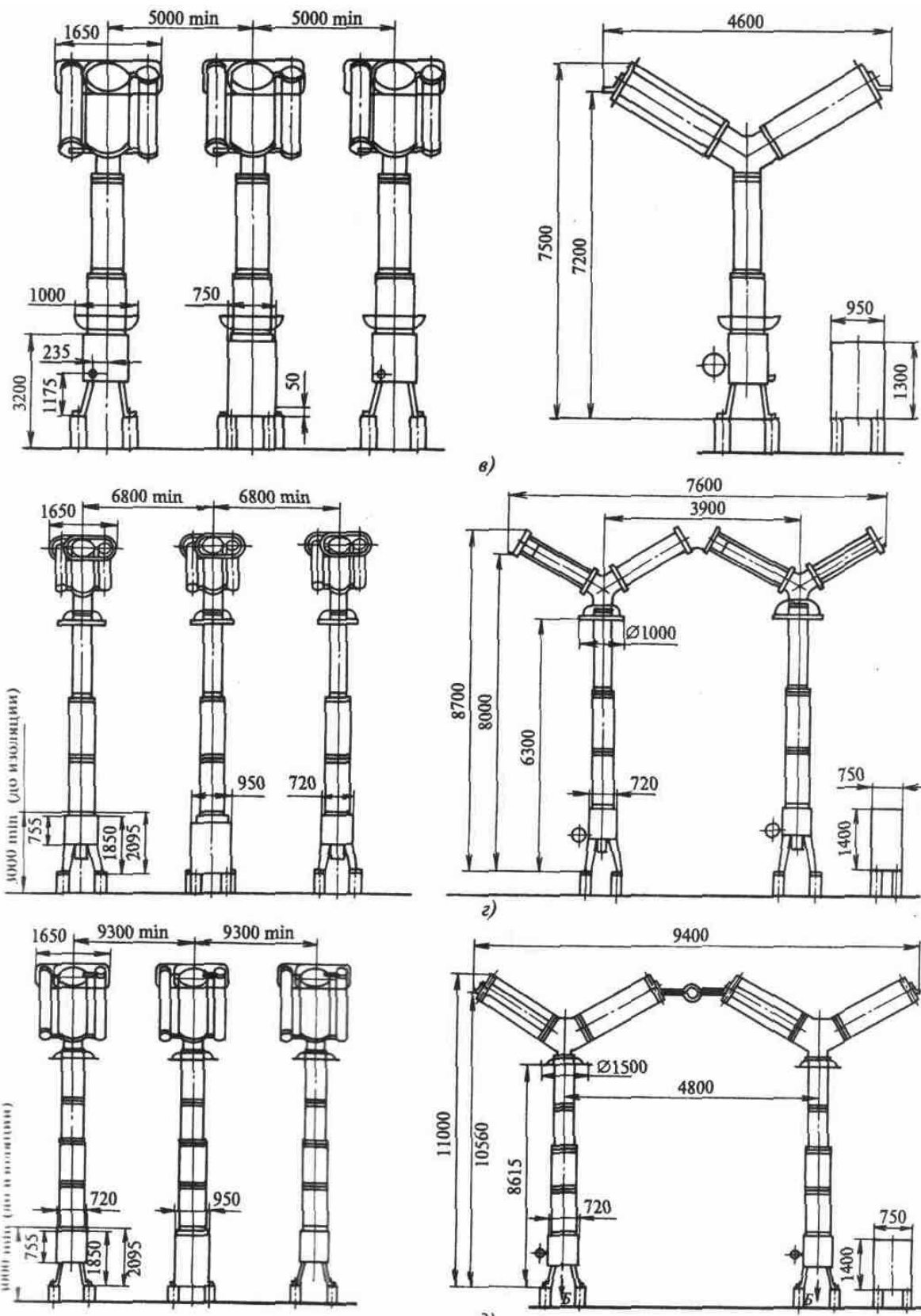


Рис. П4.1. Окончание

## Элегазовые выключатели типа ВГТ

Параметр	Значение параметра для выключателей типа	
	ВГТ-110 II	ВГТ-220 II
Номинальное напряжение, кВ	110	220
Номинальный ток, А	2500	2500
Номинальный ток отключения, кА	40	40
Нормированное содержание аperiodической составляющей, %	40	40
Ток электродинамической стойкости, кА	102	102
Термическая стойкость, кА/с	40/3	40/3
Собственное время отключения, с	0,035	0,035
Полное время отключения, с	0,055	0,055
Собственное время включения, с	0,12	0,12
Избыточное давление элегаза, МПа, при 20 °С	0,4	0,4
Ресурс по механической стойкости, циклов включение—отключение	5000	5000
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения:		
при токах $I = (0,6-1,0) I_{откл.ном}$	20	20
при токах $I = (0,3-0,6) I_{откл.ном}$	34	34
при токах $I = I_{ном}$	3000	3000
Срок службы, лет	40	40

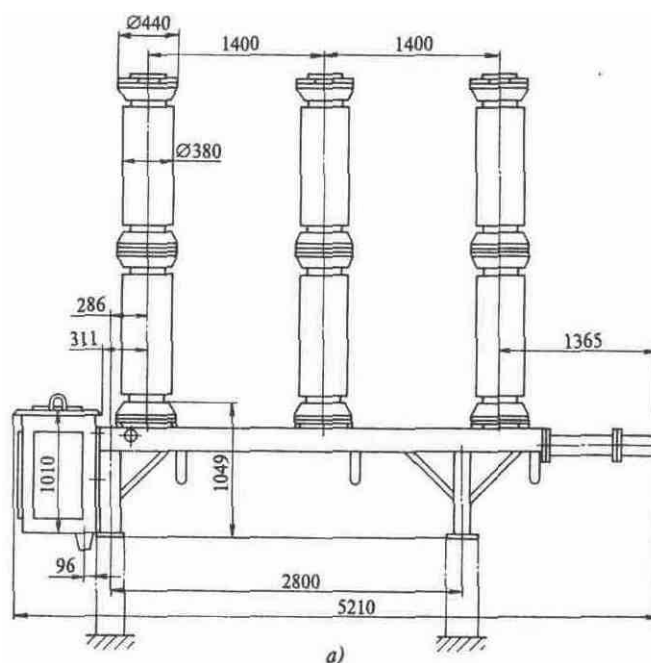


Рис. П4.2. Выключатель типа ВГТ на напряжение:

а—110 кВ; б—220 кВ

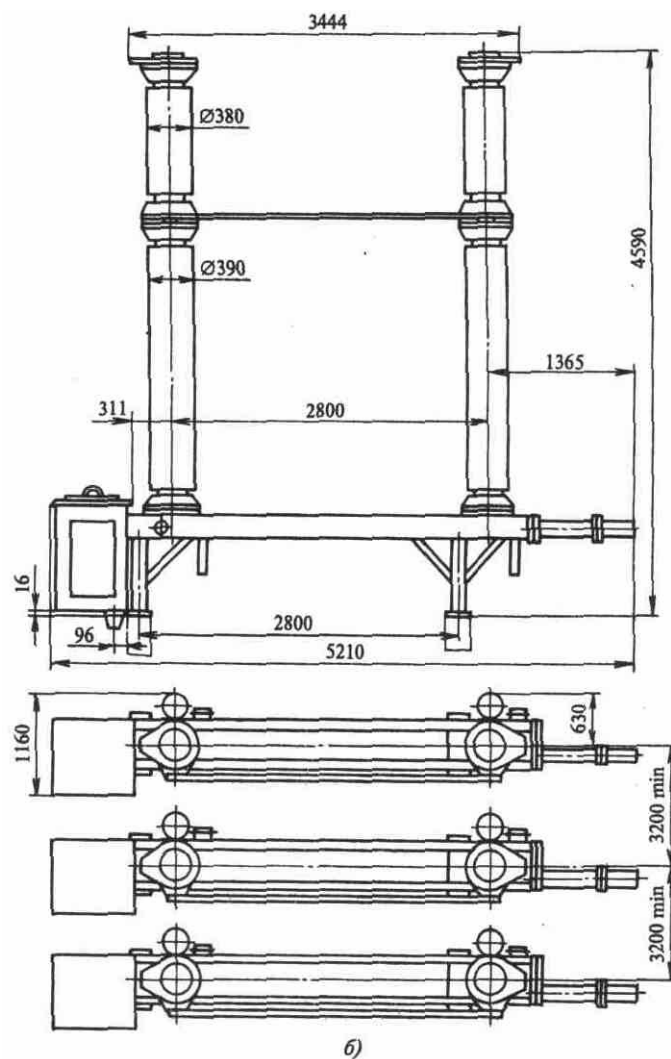
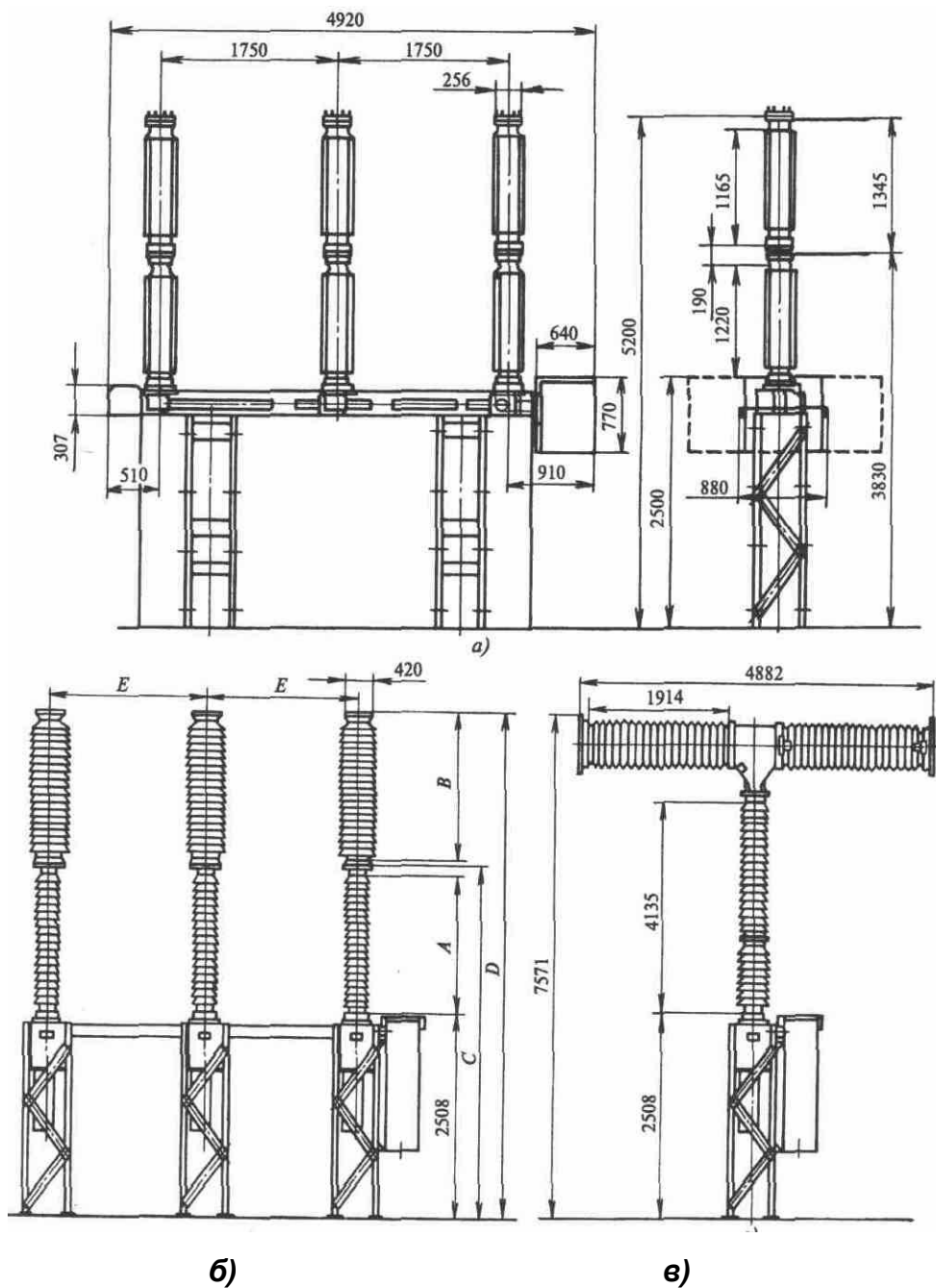


Рис. П4.2. Окончание

Ниже представлены данные аналогичных колонковых типов выключателей с пружинными приводами, производимых в России международным электротехническим концерном АВВ. На напряжение 110-330 кВ имеется один разрыв на полюс выключателя (рис. П4.3, а, б), а при 500 кВ - два разрыва (рис. П4.3, в).

Элегазовые выключатели типов LTB и HPL

Параметр	Значение параметра для выключателей типа			
	LTB 145	HPL 242	HPL 420	HPL 550
Номинальное напряжение, кВ	110	220	330	500
Номинальный ток, А	2000; 2500; 3150	2000;2500; 3150;4000; 5000	4000	2000;2500; 3150;4000; 5000
Номинальный ток отключения,кА	40	40; 50	40;50;63	50
Нормированное содержание аperiодической составляющей, %	52	56	51	56
Ток электродинамической стойкости, кА	102	100;125	100; 125; 158	125
Термическая стойкость, кА/с	40/3	40/3; 50/3	40/3; 50/3; 63/3	50/3
Собственное время отключения, с	0,022	0,019	0,023	0,018
Полное время отключения, с	0,04	0,04	0,04	0,04
Собственное время включения, с	0,04	0,065	0,065	0,065
Избыточное давление элегаза, МПа, при 20 °С	0,5	0,5	0,5	0,5
Ресурс по механической стойкости, циклов включение–отключение	10000	10000	10000	10000
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения:				
при токах $I=(0,6-1,0)I_{откл.ном}$	20	20	20	20
при токах $I=(0,3-0,6)I_{откл.ном}$	50	65	50	65
при токах $I = I_{ном}$	5000	2000	2500	2000



Напряжение, кВ	Габаритные размеры, мм				
	A	B	C	0	E*
220	1955	1914	4570	6704	3500
330	2205	2124	4820	7163	3500

\* Минимальное значение.

Рис. П4.3. Выключатели типов LTB и HPL на напряжение:  
а — 110 кВ; б — 220—330 кВ; в — полюс выключателя 500 кВ

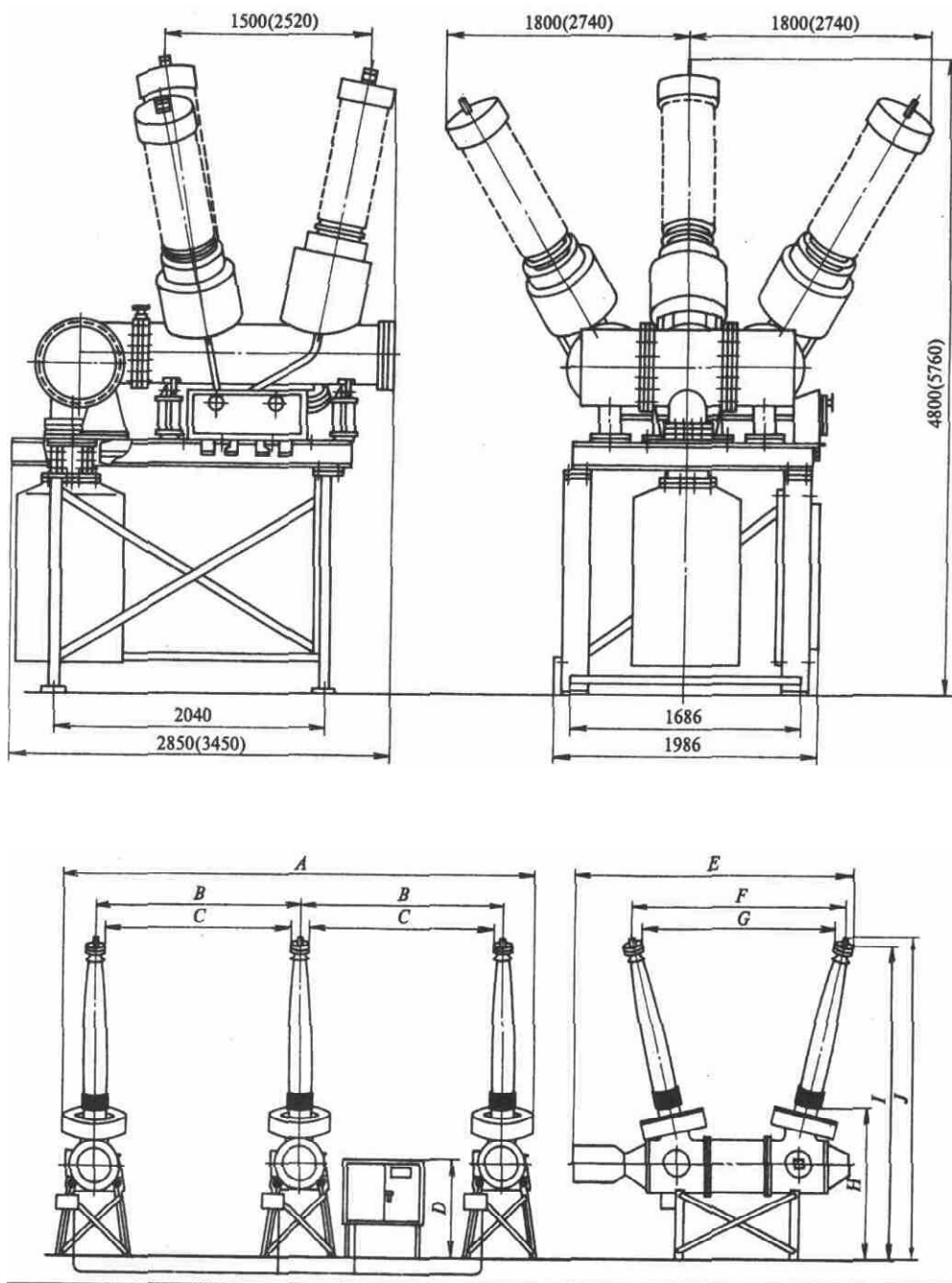


Элегазовые баковые выключатели напряжением 35 кВ и выше. Баковый выключатель представляет собой комбинированный комплекс коммутационного аппарата и трансформаторов тока, встраиваемых в его вводы. В табл. приведены характеристики отечественных баковых элегазовых выключателей, а на рис. П4.4 — их габаритные размеры.

Элегазовые выключатели типов ВГБЭ и ВГБ

Параметр	Значение параметра для выключателей типа		
	ВГБЭ—35	ВГБ—110	ВГБ—220
Номинальное напряжение, кВ	35	110	220
Номинальный ток, А	630	2000	2000
Номинальный ток отключения, кА	12,5	40	40
Нормированное содержание аperiodической составляющей, %	32	36	36
Ток электродинамической стойкости, кА	35	102	102
Термическая стойкость, кА/с	12,5/3	40/3	40/3
Собственное время отключения, с	0,04	0,035	0,03
Полное время отключения, с	0,07	0,05	0,06
Собственное время включения, с	0,1	0,08	0,15
Избыточное давление элегаза, МПа, при 20 °С	0,45	0,5	0,5
Тип привода	Электромагнитный	Гидравлический	Гидравлический
Ресурс по механической стойкости, циклов включение—отключение	5000	5000	5000
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения:			
при токах $I=(0,6-1,0)I_{откл.ном}$	33	20	20
при токах $I=(0,3-0,6)I_{откл.ном}$	83	...	...
при токах $I = I_{ном}$	2000	2500	2500
Срок службы, лет		30	30

Примечание: Знак «...» — нет данных.



Напряжение, кВ	Габаритные размеры, мм									
	A	B	C	0	E	P	0	H	I	J
330	8496	3528	3327	1829	5156	3835	3480	2591	5766	6045
500	16 421	7620	6820	1829	6490	5690	4877	2591	6858	7137

Рис. П4.4. Выключатели типов 362 РМ и 550 РМ

## Элегазовые выключатели типа РМ

Параметр	Значение параметра для выключателей типа			
	145 РМ 40	242 РМР	362 РМ	550 РМ
Номинальное напряжение, кВ	110	220	330	500
Номинальный ток, А	3150	3150; 4000	2000; 3150	3150; 4000
Номинальный ток отключения, кА	40	40	40; 50	40; 50; 63
Нормированное содержание аperiodической составляющей, %	47	50	30	50
Ток электродинамической стойкости, кА	102	102	102; 135	102; 135; 170
Термическая стойкость, кА/с	40/3	40/3	40/3; 50/3	40/3; 50/3; 63/3
Собственное время отключения, с	0,03	0,029	0,025	0,016
Полное время отключения, с	0,05	0,055	0,04	0,04
Собственное время включения, с	0,065	0,063	0,08	0,08
Избыточное давление элегаза, МПа, при 20 °С	0,7	0,7	0,63	0,7
Тип привода	Пружинный	Гидравлический	Гидравлический	Гидравлический
Ресурс по механической стойкости, циклов включения - отключение	5000	5000	...	...
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения:				
при токах $I=(0,6-1,0) I_{откл.ном}$	20	20	...	...
при токах $I=(0,3-0,6) I_{откл.ном}$	40	40	...	...
при токах $I = I_{ном}$	2000	2000	...	...

## Комплектные РУ 6-10 кВ с вакуумными и элегазовыми выключателями

В электроустановках 6-10 кВ используются КРУ. Они классифицируются по условиям окружающей среды, конструктивному исполнению, типу коммутационного аппарата особенностям обслуживания, защищенности токоведущих частей, роду оперативного тока и т.д. Традиционно выделяют КРУ 6-10 кВ внутренней и наружной установки.

В табл. даны характеристики ряда КРУ 6-10 кВ внутренней установки с выкатными элементами. Эти КРУ выпускаются с маломасляными (ВМПЭ, ВК; ВКЭ МГТ-10-5000-63К), вакуумными (ВБПВ; ВВЭ-М; ВБЧЭ; ВБМ; ВБП; ВБКЭ; ВБЭК ВБПВ; ВВТЭ-М; ВБЭМ; ВБЭС; ВВ/TEL; VD4) и элегазовыми (VF; HD4/GT; LF1; LF2. LF3; HA3; FG1) выключателями.

Характеристики КРУ 6—10 кВ внутренней установки с маломасляными,  
вакуумными и элегазовыми выключателями

Параметр	Тип КРУ				
	К-ХХУ1М	К-ХХУП	К-104М	К-105	РУ-10-5000
Номинальное напряжение, кВ	6; 10	6; 10	6; 10	6; 10	10
Номинальный ток, А: сборных шин шкафов	2000;3150 630; 1000; 1600	2000;3150 2000:3150	1600; 2000; 3150 400;630;800; 1000;1250; 1600	2000;3150 2000:3150	5000 1600; 4000; 5000
Количество и сечение силовых кабелей в шкафах отходящих линий, мм <sup>2</sup>	4(3x240)	12(3x240)	4(3x240)	12(3x240)	
Номинальный ток отключения, кА	20:31,5	20,31,5	16; 20; 31,5; 40	31,5;40	58 (в цикле АПВ); 63 (без цикла АПВ)
Ток электродинамической стойкости, кА	50; 80	50; 80	40;50;80;128	80;128	170
Термическая стойкость, кА/с	20/3:31,5/3	20/3; 31,5/3	До 40/3	31,5/3; 40/3	63/3
Тип привода к выключателю	Встроенный электромагнитный и пружинный	Встроенный электромагнитный	Встроенный электромагнитный и пружинный	Встроенный электромагнитный и пружинный	ПЭ-21
Обслуживание шкафов	Одно-стороннее	Одно-стороннее	Двустороннее	Двустороннее	Двустороннее
Тип выключателя	ВМПЭ; ВВТЭ-М; ВБЭС; ВВ/TEL: VF; LF1	ВМПЭ	ВКЭ; VD4: ВБПВ; ВВЭ-М; ВБЧЭ; ВБМ; ВБП; ВБКЭ; ВВ/TEL: VF; HD4/GT; LF1; LF2; LF3	ВВЭ-М; ВБЭК; HA3; LF3	МГТ-10-5000-63К

## Вакуумные выключатели типа ВВЭ-М-10

Параметр	Значение параметра для выключателей типа		
	ВВЭ-М-10-20	ВВЭ-М-10-31,5	ВВЭ-М-10-40
Номинальное напряжение, кВ	10	10	10
Номинальный ток, А	630; 1000; 1600	630; 1000; 1600 2000; 2500; 3150	2000; 2500; 3150
Номинальный ток отключения, кА	20	31,5	40
Нормированное содержание аperiodической составляющей, %	50	50	50
Ток электродинамической стойкости, кА	51	81	128
Термическая стойкость, кА/с	20/3	31,5/3	40/3
Собственное время отключения, с	0,02	0,02	0,03
Полное время отключения, с	0,04	0,04	0,05
Собственное время включения, с	0,1	0,1	0,1
Ресурс по механической стойкости, циклов включение - отключение	50 000	30 000	10 000
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения:	50	50	50
при токах $I = I_{откл.ном}$	50 000	30 000	10 000
при токах $I = I_{ном}$			
Габаритные размеры, мм:			
ширина	617	617	624
глубина	593	593	678
высота	828	828	945
Масса выключателя, кг	96	96	210
Срок службы, лет	25	25	25

**Характеристики КРУ 6 – 10 кВ наружной установки с маломасляными,  
вакуумными и элегазовыми выключателями**

Параметр	Тип КРУ	
	К-59У1	К-59ХЛ1
Номинальное напряжение, кВ	6; 10	
Номинальный ток, А:		
сборных шин	1000; 1600; 2000; 3150	
шкафов	630; 1000; 1600	
Количество и сечение силовых кабелей в шкафах отходящих линий, мм <sup>2</sup>	4(3×240)	
Номинальный ток отключения, кА	20; 31,5	
Ток электродинамической стойкости, кА	51; 81	
Термическая стойкость, кА/с	20/3; 31,5/3	
Тип выключателя	ВКЭ; ВК; ВВЭ-М; ВБПВ; ВБЭК; ВБЭМ; ВВ/TEL; LF1; FG1	
Тип привода к выключателю	Встроенный электромагнитный и пружинный	
Обслуживание шкафов	Одностороннее	
Габаритные размеры шкафа, мм:		
ширина	750	
глубина	1300	
высота	2385	
Габаритные размеры КРУ, мм:		
длина	(750n+60)N, где n – количество ячеек в секции; N – количество секций	
ширина	2725	2780
ысота	3100	3200
Масса транспортного блока из шести ячеек, кг	5600	6500

## Элегазовые выключатели типа VF

Параметр	Значение параметра для выключателей типа															
	VF 07.12.50	VF 07.16.50	VF 20.12.50	VF 12.08.16	VF 12.12.16	VF 12.08.20	VF 12.12.20	VF 12.08.31	VF 12.12.31	VF 12.16.31	VF 12.20.31	VF 12.25.31	VF 12.12.40	VF 12.16.40	VF 12.20.40	
Номинальное напряжение, кВ	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Номинальный ток, А	1250	1600	2000	800	1250	800	1250	800	1250	1600	2000	2500	12500	1600	2000	
Номинальный ток отключения, кА	50	50	50	16	16	20	20	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	40	40	40	
Нормированное содержание аperiodической составляющей, %	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Ток электродинамической стойкости, кА	128	128	128	40	40	50	50	80	80	80	80	80	110	110	110	
Термическая стойкость, кА/с	50/3	50/3	50/3	16/3	16/3	20/3	20/3	31,5/3	31,5/3	31,5/3	31,5/3	31,5/3	43,5/3	43,5/3	43,5/3	
Собственное время отключения, с	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Полное время отключения, с	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
Собственное время включения, с	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Избыточное давление элегаза, МПа, при 20 °С	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Ресурс по механической стойкости, циклов включение - отключение	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	
Ресурс по коммутационной стойкости, циклов отключения: при токах $I = I_{откл.ном}$ при токах $I = I_{ном}$	18	18	18	30	30	30	30	25	25	25	25	25	20	20	20	
Габаритные размеры, мм: ширина глубина высота	590 450 972	590 450 972	740 636 1019	590 450 914	590 450 914	590 450 914	590 450 914	590 450 914	590 450 914	590 450 914	590 450 972	590 450 972	740 636 1019	590 450 972	590 450 972	740 636 1019
Масса выключателя, кг	105	120	120	105	105	105	105	105	105	120	120	130	105	120	130	
Срок службы, лет	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	

### Трансформаторы с высшим напряжением 35 кВ

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт	$u_k$ , %		
	ВН	СН	НН		ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
ТМ-2500/35	35	—	3,15; 6,3; 10,5	23,5	—	6,5	—
ТМН-2500/35	35	—	0,69; 6,3; 11	23,5	—	6,5	—
ТМ-4000/35	35	—	3,15; 6,3; 10,5	33,5	—	7,5	—
ТМН-4000/35	35	—	6,3; 11	33,5	—	7,5	—
ТМ-6300/35	35	—	3,15; 6,3; 10,5	—	—	7,5	—
ТМН-6300/35	35	—	6,3; 11	46,5	—	7,5	—
ТДНС-10000/35	36,75	—	6,3; 10,5	60	—	8	—
ТДНС-16000/35	36,75	—	6,3; 10,5	85	—	10	—
ТРДНС-25000/30	36,75	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	115	—	10,5	30
ТРДНС-32000/35	36,75	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	145	—	12,7	40
ТРДНС-40000/35	36,75	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	170	—	12,7	40
ТРДНС-63000/35	36,75	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	250	—	12,7	40
ТМТН-6300/35	35	10,5; 13,8; 15,75	6,3	55	7,5	7,5	16
ТДТН-10000/35	36,75	10,5; 13,8; 15,75	6,3	75	8	16,5	7
ТДТН-16000/35	36,75	10,5; 13,8; 15,75	6,3	115	8	16,5	7



**Трансформаторы с высшим напряжением 110 кВ**

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт	$u_k$ , %		
	ВН	СН	НН		ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
ТДЦ-80000/100	121	—	3,15; 6,3; 10,5; 13,8	310	—	11	—
ТДЦ-125000/110	121	—	10,5; 13,8	400	—	10,5	—
ТДЦ-200000/110	121	—	13,8; 15,75	550	—	10,5	—
ТДЦ-250000/110	121	—	15,75	640	—	10,5	—
ТДЦ-400000/110	121	—	20	900	—	10,5	—
ТМН-2500/110	110	—	6,6; 11	22	—	10,5	—
ТМН-6300/110	115	—	6,6; 11; 16,5	44	—	10,5	—
ТДН-10000/110	115	—	6,6; 11; 16,5; 22; 34,5	58	—	10,5	—
ТДН-16000/110	115	—	6,6; 11; 16,5; 22; 34,5	85	—	10,5	—
ТДН-25000/110	115	—	38,5	120	—	10,5	—
ТДН-40000/110	115	—	38,5	170	—	10,5	—
ТДН-63000/110	115	—	38,5	245	—	10,5	—
ТДН-80000/110	115	—	38,5	310	—	10,5	—
ТРДН-25000/110	115	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	120	—	10,5	30
ТРДН-40000/110	115	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	170	—	10,5	30
ТРДН-63000/110	115	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	245	—	10,5	30
ТРДН-80000/110	115	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	310	—	10,5	30
ТРДЦН-125000/110	115	—	10,5-10,5	400	—	11	30
ТМТН-6300/110	115	16,5; 22; 38,5	6,6; 11	52	10,5	17	6
ТДТН-10000/110	115	16,5; 22; 34,5; 38,5	6,6; 11	76	10,5	17,5	6,5
ТДТН-16000/110	115	22; 34,5; 38,5	6,6; 11	100	10,5	17,5	6,5
ТДТН-25000/110	115	11	6,6	140	10,5	17,5	6,5
ТДТН-40000/110	115	22; 34,5; 38,5	6,6; 11	200	10,5	17,5	6,5
ТДТН-63000/110	115	11	6,6	290	10,5	18	7
ТДТН(ТДЦТН)-80000/110	115	38,5	6,6; 11	365	11	18,5	7
		11	6,6				
		38,5	6,6; 11				

### Трансформаторы с высшим напряжением 150 кВ

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт	$u_k$ , %		
	ВН	СН	НН		ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
ТМН-4000/150	158	—	6,6; 11	35	—	10,5	—
ТДН-16000/150-70У1	158	—	6,6; 11	88	—	11	—
ТРДН-32000/150	158	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	145	—	10,5	16,5
ТРДН-63000/150	158	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	235	—	10,5	16,5
ТДЦ-125000/150	165	—	10,5; 13,8	380	—	11	—
ТДЦ-250000/150	165	—	10,5; 13,8; 15,75	640	—	11	—
ТДЦ-400000/150	165	—	20	930	—	11	—
ТДТН-16000/150-70У1	158	38,5	6,6; 11	96	10,5	18	6
ТДТН-25000/150-70У1	158	38,5	6,6; 11	145	10,5	18	6
ТДТН-40000/150-70У1	158	38,5	6,6; 11	185	10,5	18	6
		11	6,6				
ТДТН-63000/150-70У1	158	38,5	6,6; 11	285	10,5	18	6

### Трансформаторы и автотрансформаторы с высшим напряжением 220 кВ

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт		$u_k$ , %			$S_{нн}$ , МВ·А
	ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТД-80000/220	242	—	6,3; 10,5; 13,8	—	315	—	11	—	—
ТДЦ-125000/220	242	—	10,5; 13,8	—	380	—	11	—	—
ТДЦ(ТЦ)-200000/220	242	—	13,8; 15,75; 18	—	660	—	11	—	—
ТДЦ(ТЦ)-250000/220	242	—	13,8; 15,75	—	600	—	11	—	—
ТДЦ(ТЦ)-400000/220-73(71)У1	242	—	13,8; 15,75; 20	—	880	—	11	—	—
ТЦ-630000/220-74У1	242	—	15,75; 20	—	1200	—	11	—	—
ТНЦ-630000/220	242	—	15,75; 20; 24	—	1200	—	12,5	—	—
ТНЦ-1000000/220	242	—	24	—	2200	—	11,5	—	—
ТРДН-32000/220	230	—	6,3-6,3; 6,6-6,6; 11-6,6; 11-11	—	150	—	11,5	—	—
ТРДНС-40000/220	230	—	6,3-6,3; 6,6-6,6; 11-6,6; 11-11	—	170	—	11,5	—	—
ТРДН-63000/220 (ТРДЦН)	230	—	6,3-6,3; 6,6-6,6; 11-6,6; 11-11	—	265	—	11,5	—	—
ТРДЦН-100000/220	230	—	11-11	—	340	—	12,5	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТРДЦН-160000/220	230	—	11-11	—	500	—	12,5	—	—
ТДТН-25000/220	230	38,5	6,6; 11	130	—	12,5	20	6,5	—
ТДТН-40000/220	230	38,5	6,6; 11	220	—	12,5	22	9,5	—
АТДЦТН-63000/220/110	230	121	6,6; 11; 38,5	200	—	11	35	22	32
АТДЦТН-125000/220/110	230	121	6,3; 6,6; 10,5; 11; 38,5	315	—	11	45	28	63
АТДЦТН-200000/220/110	230	121	6,3; 6,6; 38,5	430	—	11	32	20	80
ТДЦТН-250000/220/110	230	121	10,5; 11	500	—	11	32	20	125
			38,5						100
ТДЦТН-250000/220/110-(75)У1	230	121	11; 13,8; 15,75 (38,5)	520	—	11	32	20	125(100)

**Трансформаторы и автотрансформаторы с высшим напряжением 330 кВ**

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт		$u_k$ , %			$S_{нн}$ , МВ·А
	ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
ТДЦ-125000/330	347	—	10,5; 13,8	—	380	—	11	—	—
ТДЦ(ТЦ)-200000/330	347	—	13,8; 15,75; 18	—	520	—	11	—	—
ТДЦ-250000/330	347	—	13,8; 15,75	—	605	—	11	—	—
ТЦ-250000/330	347	—	13,8	—	605	—	11	—	—
ТДЦ-400000/330	347	—	20	—	790	—	11,5	—	—
ТЦ-400000/330	347	—	15,75; 20	—	790	—	11,5	—	—
ТЦ-630000/330-71У1	347	—	15,75; 20; 24	—	1300	—	11	—	—
ТНЦ-630000/330	347	—	15,75; 20; 24	—	1300	—	11,5	—	—
ТЦ-1000000/330-69У1	347	—	24	—	2200	—	11,5	—	—
ТЦН-1000000/330	347	—	24	—	2200	—	11,5	—	—
ТНЦ-1250000/330	347	—	24	—	2200	—	14,5	—	—
ТРДНС-40000/330	330	—	6,3-6,3; 6,3-10,5; 10,5-10,5	—	180	—	11	28	—
ТРДЦН-63000/330	330	—	6,3-6,3; 10,5-6,5; 10,5-10,5	—	230	—	11	28	—
АТДЦТН-125000/330/110	330	115	6,3; 6,6; 10,5; 11; 38,5	345	—	10	35	24	63
АТДЦТН-200000/330/110	330	115	6,3; 6,6; 10,5; 11; 38,5	560	—	10,5	38	25	80
АТДЦТН-250000/330/150	330	158	10,5; 38,5	620	—	10,5	54	42	100
АТДЦН-400000/330/150	330	—	165	720	—	—	11	—	400
АОДЦТН-133000/330/220	330/ $\sqrt{3}$	230/ $\sqrt{3}$	10,5; 38,5	250	—	9	60	48	33

**Трансформаторы и автотрансформаторы с высшим напряжением 500 кВ**

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт		$u_k$ , %			$S_{нн}$ , МВ·А
	ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТДЦ-250000/500	525	—	13,8; 15,75; 20	—	590	—	13	—	—
ТЦ-250000/500	525	—	13,8; 15,75	—	590	—	13	—	—
ТДЦ-400000/500	525	—	13,8; 15,75; 20	—	790	—	13	—	—
ТЦ-400000/500	525	—	15,75; 20	—	790	—	13	—	—
ТЦ-630000/500	525	—	15,75; 20; 24; 36,75	—	1210	—	14	—	—
ТНЦ-1000000/500	525	—	24	—	1800	—	14,5	—	—
ОРНЦ-533000/500	525/ $\sqrt{3}$	—	15,75-15,75; 24-24	—	1260	—	13,5	44	—
ОРНЦ-533000/500	525/ $\sqrt{3}$	—	24-24/ $\sqrt{3}$	—	1260	—	13,5	44	—
АОРЦТ-135000/500/220-78У1	525/ $\sqrt{3}$	242/ $\sqrt{3}$	13,8-13,8; 18-18	320	—	9,5	31	20	90
АОРДЦТ-135000/500/220-78У1	525/ $\sqrt{3}$	242/ $\sqrt{3}$	13,8-13,8; 18-18	360	—	9,5	31	20	80
АТДЦТН-250000/500/110	500	121	10,5; 38,5	690	—	13	33	18,5	100
АТДЦН-500000/500/220	500	—	230	1050	—	—	12	—	500
АОДЦТН-167000/500/330-76У1	500/ $\sqrt{3}$	330/ $\sqrt{3}$	10,5; 38,5	300	—	9,5	67	61	33
АОДЦТН-167000/500/220	500/ $\sqrt{3}$	230/ $\sqrt{3}$	10,5; 11; 38,5	315	—	11	35	21,5	50
			13,8						67
			15,75; 20						83
АОДЦТН-267000/500/220	500/ $\sqrt{3}$	230/ $\sqrt{3}$	10,5; 13,8; 38,5	470		11,5	37	23	67
			15,75						83
			20						120

### Трансформаторы и автотрансформаторы с высшим напряжением 750 и 1150 кВ

Тип	Напряжение обмотки, кВ			Потери $P_k$ , кВт		$u_k$ , %			$S_{нн}$ ,
	ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	МВ·А
ОРЦ-417000/750	$787/\sqrt{3}$	—	20-20; 24-24	—	800	—	14	45	—
АОДЦТН-267000/750/220	$750/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	10,5	600	—	13	31	17	80
АОДЦТН-333000/750/330	$750/\sqrt{3}$	$330/\sqrt{3}$	15,75; 10,5	580	—	10	28	17	120
АОДЦТН-417000/750/500	$750/\sqrt{3}$	$500/\sqrt{3}$	10,5 15,75	670	—	11,5	81	68	33,7 50
АОДЦТ-667000/1150/500	$1150/\sqrt{3}$	$500/\sqrt{3}$	20	1250	—	11,5	35	22	180

### Расчетные характеристики кабелей с бумажной изоляцией

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление прямой последовательности $X_{1уд}$ и емкостная проводимость $b_{уд}$ кабеля напряжением, кВ							
			6		10		20		35	
	Медь	Алюминий	$X_{1уд}$ , Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$ , См·км	$X_{1уд}$ , Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$ , См·км	$X_{1уд}$ , Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$ , См·км	$X_{1уд}$ , Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$ , См·км
10	1,84	3,1	0,11	62,8	—	—	—	—	—	—
16	1,15	1,94	0,102	72,2	0,113	—	—	—	—	—
25	0,74	1,24	0,091	88	0,099	72,2	0,135	53,5	—	—
35	0,52	0,89	0,087	97,2	0,095	85	0,129	60	—	—
50	0,37	0,62	0,083	114	0,09	91	0,119	66	—	—
70	0,26	0,443	0,08	127	0,086	97,5	0,116	75,5	0,137	56,5
95	0,194	0,326	0,078	134	0,083	110	0,110	81,5	0,126	63
120	0,153	0,258	0,076	146	0,081	116	0,107	100	0,120	75,5
150	0,122	0,206	0,074	162	0,079	138	0,104	110	0,116	81,5
185	0,099	0,167	0,073	169	0,077	141	0,101	119	0,113	88
240	0,077	0,129	0,071	185	0,075	144	—	—	—	—
300	0,061	0,103	—	—	—	—	0,095	—	0,097	—
400	0,046	0,077	—	—	—	—	0,092	—	—	—

**Расчетные характеристики воздушных линий 35 - 150 кВ со сталеалюминиевыми проводами**

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление при +20 °С на 100 км линии, Ом	Индуктивное сопротивление прямой последовательности $X_{1уд}$ (Ом) и емкостная проводимость $b_{уд}$ ( $\cdot 10^{-4}$ , См) на 100 км линии напряжением, кВ				
		35	110		150	
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	46	2,46
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	45	2,52
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	44,1	2,56
150/24	19,8	40,6	42	2,70	43,4	2,61
185/29	16,2	—	41,3	2,75	42,9	2,64
240/32	12	—	40,5	2,81	42	2,70

**Расчетные характеристики воздушных линий 220 - 1150 кВ со сталеалюминиевыми проводами**

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	Кол-во проводов в фазе	Активное сопротивление при +20 °С на 100 км, Ом	Индуктивное сопротивление прямой последовательности $X_{1уд}$ (Ом) и емкостная проводимость $b_{уд}$ ( $\cdot 10^{-4}$ , См) на 100 км линии напряжением, кВ											
			220		330		500		750		1150			
			$X_{1уд}$	$b_{уд}$	$X_{1уд}$	$b_{уд}$	$X_{1уд}$	$b_{уд}$	$X_{1уд}$	$b_{уд}$	$D_{cp} = 15$ м	$D_{cp} = 24,2$ м		
240/32	1	12,1	43,5	2,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	6,0	—	—	33,1	3,38	—	—	—	—	—	—	—	—
240/39	11	1,1	11	1,1	—	—	—	—	—	19,3	5,95	—	—	—
240/56	5	2,4	—	—	—	—	—	—	30,8	3,76	—	—	—	—
300/39	1	9,8	42,9	2,64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	4,8	—	—	32,8	3,41	—	—	—	—	—	—	—	—
300/48	8	1,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26,6	4,43	—
300/66	3	3,4	—	—	—	—	31,0	3,97	—	—	—	—	—	—
	5	2,1	—	—	—	—	—	—	28,8	4,11	—	—	—	—
330/43	3	2,9	—	—	—	—	30,8	3,60	—	—	—	—	—	—
	8	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27,0	4,38	—
400/51	1	7,5	42,0	2,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	3,75	—	—	32,3	3,46	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	2,5	—	—	—	—	30,6	3,62	—	—	—	—	—	—
400/93	5	1,5	—	—	—	—	—	—	28,6	4,13	—	—	—	—
	4	1,9	—	—	—	—	—	—	28,9	4,13	—	—	—	—
500/64	1	6,0	41,3	2,74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	3,0	—	—	32,0	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	2,0	—	—	—	—	30,4	3,64	—	—	—	—	—	—
	4	1,5	—	—	—	—	—	—	30,3	3,9	—	—	—	—

**Индуктивные сопротивления воздушных линий с медными и алюминиевыми проводами**

Среднегеометрическое расстояние между проводами, м	Удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности, Ом/км, при проводах марок												
	М-6	М-10	М-16, А- 16	М-25, А- 25	М-35, А- 35	М-50, А- 50	М-70, А- 70	М-95, А- 95	М-120, А-120	М-150, А-150	М-185, А-185	М-240, А-240	М-300, А-300
0,4	0,371	0,335	0,333	0,319	0,308	0,297	0,283	0,274	—	—	—	—	—
0,6	0,397	0,381	0,358	0,345	0,336	0,325	0,309	0,300	0,292	0,287	0,280	—	—
0,8	0,415	0,399	0,377	0,363	0,352	0,341	0,327	0,318	0,310	0,305	0,298	—	—
1,0	0,429	0,413	0,391	0,377	0,366	0,355	0,341	0,332	0,324	0,319	0,313	0,305	0,298
1,25	0,443	0,427	0,405	0,391	0,380	0,369	0,355	0,346	0,338	0,333	0,327	0,319	0,311
1,5	—	0,438	0,416	0,402	0,391	0,380	0,366	0,357	0,349	0,344	0,338	0,330	0,323
2,0	—	0,457	0,435	0,421	0,410	0,398	0,385	0,376	0,368	0,363	0,357	0,349	0,342
2,5	—	—	0,449	0,435	0,424	0,413	0,399	0,390	0,382	0,377	0,371	0,363	0,363
3,0	—	—	0,460	0,446	0,435	0,423	0,410	0,401	0,393	0,388	0,382	0,374	0,374
3,5	—	—	0,470	0,456	0,455	0,433	0,420	0,411	0,403	0,398	0,392	0,384	0,377
4,0	—	—	0,478	0,464	0,453	0,441	0,428	0,419	0,411	0,406	0,400	0,392	0,385
4,5	—	—	—	0,471	0,460	0,448	0,435	0,426	0,418	0,413	0,407	0,399	0,392
5,0	—	—	—	—	0,467	0,456	0,442	0,433	0,425	0,420	0,414	0,406	0,399
5,5	—	—	—	—	—	0,462	0,448	0,439	0,431	0,426	0,420	0,412	0,405
6,0	—	—	—	—	—	0,468	0,454	0,445	0,437	0,432	0,426	0,418	0,411

**Индуктивные сопротивления воздушных линий со сталеалюминиевыми проводами**

Среднегеометрическое расстояние между проводами, м	Удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности, Ом/км, при проводах марок									
	АС-35	АС-50	АС-70	АС-95	АС-120	АС-150	АС-185	АС-240	АС-300	АС-400
2,0	0,403	0,392	0,382	0,371	0,365	0,358	—	—	—	—
2,5	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	—	—	—	—
3,0	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369	—	—
3,5	0,438	0,427	0,417	0,406	0,400	0,398	0,386	0,378	—	—
4,0	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0,401	0,394	0,386	—	—
4,5	—	—	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0,394	—	—
5,0	—	—	0,440	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401	—	—
5,5	—	—	—	—	0,430	0,422	0,415	0,407	—	—
6,0	—	—	—	—	—	—	—	0,413	0,404	0,396
6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,409	0,400
7,0	—	—	—	—	—	—	—	—	0,414	0,406
7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,418	0,409
8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	0,422	0,414
8,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,425	0,418