



Л.Ф. Лисина

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Л.Ф. Лисина

**СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Учебное пособие

2009

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Тема 1. Основные сведения о системах электроснабжения.....	6
1.1 Основные термины и определения.....	6
1.2 Деление системы электроснабжения на уровни; классификация каждого уровня.....	9
1.3 Технические показатели электроприёмников.....	12
1.4. Общие требования при проектировании систем электроснабжения.....	15
1.5 Напряжения питающих и распределительных сетей.....	16
1.6 Источники питания и пункты приёма электроэнергии.....	19
1.7 Конструктивное выполнение сетей.....	22
1.8 Электрические параметры электроэнергетических систем.....	23
1.9 Управление электроэнергетическими системами	24
1.10 Структура потребителей и понятие о графиках их электрических нагрузок.....	25
1.11 Преимущества объединения электроэнергетических систем.....	26
1.12. Организация взаимоотношений между энергосистемой и потребителями.....	29
Тема 2. Режимы нейтрали в системах электроснабжения.....	30
2.1 Режим работы нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ.....	30
2.2. Режим работы нейтрали в установках напряжением до 1 кВ.....	32
Тема 3. Конструктивное выполнение электрических сетей.....	33
3.1. Общие сведения.....	33
3.2. Воздушные линии.....	34
3.2.1. Общие сведения.....	34
3.2.2. Провода воздушных линий.....	35
3.2.3. Изоляторы воздушных линий.....	37
3.2.4. Опоры воздушных линий.....	38
3.3. Кабельные линии.....	40
3.3.1. Конструкции кабелей.....	40
3.3.2. Способы прокладки кабелей напряжением 6... 10 кВ.....	45
3.4. Конструктивное выполнение цеховых сетей напряжением до 1 кВ.....	51
3.4.1. Общие сведения.....	51
3.4.2. Электропроводки.....	51
3.4.3. Шинопроводы.....	54
Тема 4. Схемы электрических соединений в системе электроснабжения.....	60
4.1. Общие сведения.....	60
4.2. Схемы подключения источников питания.....	60
4.3. Типы электроподстанций.....	62
4.4. Принципы выбора схемы распределения электроэнергии.....	62
4.5. Схемы электрических сетей внутри объекта на напряжении 6... 10 кВ.....	63
4.6. Схемы городских распределительных сетей напряжением до 1 кВ.....	68
4.7. Схемы цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.....	70
4.8. Схемы осветительных сетей.....	74

Тема 5 Схемы электрических соединений подстанций	78
5.1. Принципы выбора схем электроподстанций	78
5.2. Схемы главных понижающих подстанций и подстанций глубокого ввода	79
5.2.1. Присоединение главных понижающих подстанций и подстанций глубокого ввода к линиям напряжением 35...220 кВ	79
5.2.2. Присоединение распределительных устройств напряжением 6... 10 кВ к понижающим трансформаторам	81
5.2.3. Схемы с двумя системами шин	82
5.3. Схемы распределительных подстанций напряжением выше 1 кВ	83
5.4. Схемы трансформаторных подстанций напряжением 6...10/0,4...0,66 кВ	85
5.4.1. Присоединение цеховых трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6...10 кВ	85
5.4.2. Присоединение трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6... 10кВ для питания городских потребителей	86
5.5. Схемы распределительных подстанций на напряжении до 1 кВ	88
Тема 6 Конструктивное исполнение трансформаторных и распределительных подстанций	89
6.1. Принципы компоновки и размещения трансформаторных и распределительных подстанций	89
6.1.1. Общие сведения	89
6.1.2. Размещение подстанций	91
6.2. Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ	92
6.3. Комплектные распределительные устройства напряжением выше 1 кВ	95
6.4. Внутренние распределительные устройства	97
6.5. Открытые распределительные устройства напряжением до 220 кВ	98
6.6. Комплектные трансформаторные подстанции	99
6.6.1. Назначение и классификация	99
6.6.2. Конструктивное исполнение комплектных трансформаторных подстанций	100
6.7. Конструктивное исполнение распределительных подстанций напряжением 6... 10 кВ	104
6.8. Примеры выполнения подстанций напряжением 6... 10/0,4...0,66 кВ	106
Литература	108

Введение

Обеспечение электроэнергией городов и посёлков Российской Федерации в настоящее время осуществляется преимущественно от сетей региональных энергетических систем, расположенных на территории всей страны и соединённых электрическими линиями высокого напряжения с источниками её производства. Региональные энергосистемы входят в состав Российского акционерного общества «РАО ЕЭС России». В свою очередь в районных и городских территориальных образованиях, а также в ряде областных структур энергосистемы на местах представлены сетевыми предприятиями электросетей (ПЭС) и входящими в их состав районами электрических сетей (РЭС), обеспечивающими состояние и развитие района (города) и региона в целом.

Энергосистема является практически единым источником постоянного электроснабжения производственных предприятий и населённых пунктов каждой конкретной территории. На отдельных территориях, расположенных вне зоны охвата электросетями энергосистем, электропотребители могут иметь временные источники электроэнергии, которые могут быть механические (бензиновые, дизельные) или другие местные электростанции, не входящие в состав энергосистемы и являющиеся собственностью предприятий, обществ или частных лиц, но действующих согласно единым нормам и правилам.

Единая энергетическая система России объединяет 66 энергосистем, около 550 электростанций с суммарной установленной мощностью 194 млн. кВт, а также более 2,2 млн.км электрических сетей всех классов напряжения, в том числе 400 тыс.км линий электропередачи напряжением 110, 220, 330, 500, 750 и 1150 кВ, трансформаторные подстанции общей мощностью 470 млн. кВт. В составе генерирующих мощностей тепловые электростанции составляют около 70%, гидроэлектростанций более 20% и атомных электростанций около 10%.

Соотношение производимой электроэнергии:

ТЭС – 70%

ГЭС – 18%

АЭС – 12%

Деятельность службы электроснабжения и совместное участие в работе по электроснабжению реальных потребителей регламентируется рядом действующих нормативных документов, к числу которых относятся Правила устройства электроустановок (ПУЭ), Строительные нормы и правила (СНиП), Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП), Межотраслевые

правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (МПБЭЭ), а также положения, нормы и другие дополнительные требования, подлежащие выполнению.

Тема 1. Основные сведения о системах электроснабжения

1.1. Основные термины и определения

Электроснабжение – обеспечение потребителей электрической энергией.

Система электроснабжения – совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Централизованное электроснабжение – электроснабжение потребителей электрической энергии от энергосистемы.

Энергетическая система (энергосистема) – совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Электрическая часть энергосистемы – совокупность электроустановок электрических станций и электрических сетей энергосистемы.

Электроэнергетическая система – электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Приемник электрической энергии (электроприемник) – аппарат, агрегат и др., предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

По технологическому назначению приемники электроэнергии классифицируются в зависимости от вида энергии, в который данный приемник преобразует электрическую энергию, в частности: электродвигатели приводов машин и механизмов, электротермические и электросиловые установки, установки электроосвещения, установки электростатического и электромагнитного поля, электрофильтры, установки искровой обработки, электронные и вычислительные машины, устройства контроля и испытания изделий.

Потребитель электрической энергии – электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Нормальный режим потребителя электрической энергии – режим, при котором обеспечиваются заданные значения параметров его работы.

Послеаварийный режим – режим, в котором находится потребитель электрической энергии в результате нарушения в системе его электроснабжения до установления нормального режима после локализации отказа.

Электроустановками называют совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, передачи, накопления, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии. **Электроустановка** – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений. Примеры электроустановок: электрическая подстанция, линия электропередачи, распределительная подстанция, конденсаторная установка, индукционная установка.

Введем понятие **электрического хозяйства промышленных предприятий**, представляющего совокупность генерирующих, преобразующих, передающих электроустановок, посредством которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией и эффективное использование ее в процессе технологического производства. Электрическое хозяйство включает в себя: собственно электроснабжение, которое называют внутриводским электроснабжением, силовое электрооборудование и автоматизацию, электроосвещение, эксплуатацию и ремонт электрооборудования.

Подстанцией называют электроустановку, служащую для преобразования и распределения электроэнергии и состоящую из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительного устройства, устройства управления и вспомогательных сооружений. Трансформаторную подстанцию называют комплектной – КТП – при поставке трансформаторов, щита низкого напряжения и других элементов в собранном виде или в виде, полностью подготовленном для сборки.

Распределительным устройством (РУ) называют электроустановку, служащую для приема и распределения электроэнергии и содержащую коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы. Если все или основное оборудование РУ расположено на открытом воздухе, оно называется **открытым** (ОРУ), в здании – **закрытым** (ЗРУ). Распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов и блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде, называют комплектным и обозначают: для внутренней установки – КРУ, для наружной – КРУН.

Распределительным пунктом называют РУ, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации. Распределительный пункт напряжением до 1 кВ называют, как правило, силовым (сборкой).

Распределительным щитом называют распределительное устройство до 1 кВ, предназначенное для управления линиями сети их защиты.

Станция управления – комплектное устройство до 1 кВ, предназначенное для дистанционного управления электроустановками или их частями с автоматизированным выполнением функций управления, регулирования, защиты и сигнализации. Конструктивно станция управления представляет собой блок, панель, шкаф, щит.

Блок управления – станция управления, все элементы которого монтируют на отдельных плите или каркасе.

Панель управления – станция управления, все элементы которого монтируют на щитах, рейках или других конструктивных элементах, собранных на общей раме или металлическом листе.

Щит управления (щит станции управления – ЩСУ) – сборка из нескольких панелей или блоков на объемном каркасе. Шкаф управления – станция управления, защищенная со всех сторон таким образом, что при закрытых дверях и крышках исключается доступ к токоведущим частям.

Независимый источник питания – источник питания, на котором сохраняется напряжение в послеаварийном режиме в регламентированных пределах при исчезновении его на другом или других источниках питания.

К числу независимых источников питания относятся две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих двух условий:

- 1) каждая из секций или систем шин в свою очередь имеет питание от независимого источника питания;
- 2) секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций (систем) шин.

Поясним термины и определения на примере схемы на рис 1.1, где максимально упрощенно представлена иерархическая схема электроснабжения крупного промышленного предприятия. Предприятие является потребителем электроэнергии (абонентом). На схеме показано условная граница раздела предприятие-энергосистема. Через нее предприятие обеспечивается электроэнергией.

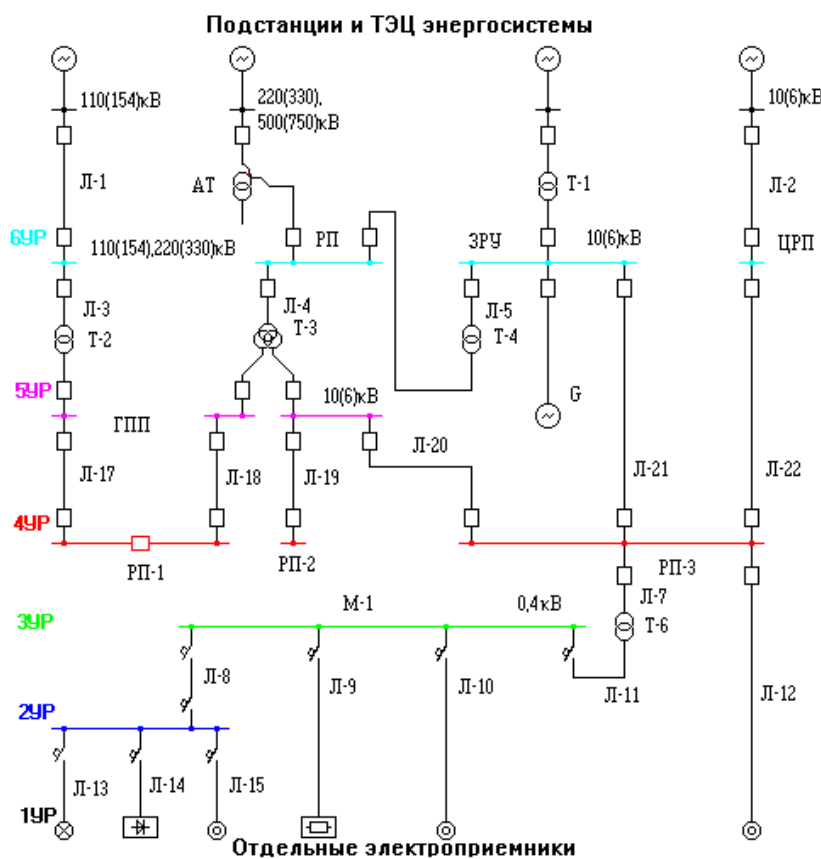


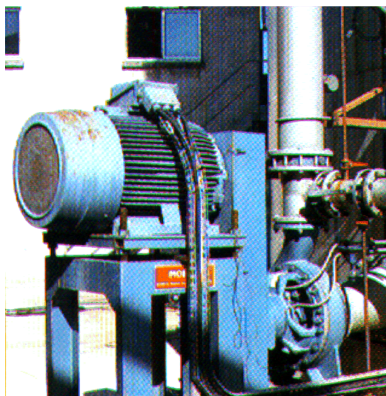
Рис. 1.1. Уровни системы электроснабжения

Заводские подстанции 110/10 кВ (возможность трансформации на 6 кВ здесь и далее подразумевается) носят разные наименования: главные понизительные (преобразовательные) – ГПП, подстанции глубокого ввода – ПГВ.

Часть от границы раздела предприятие-энергосистема до ТП 10/0,4 кВ, включая ГПП, РП и сети, собственно и есть электроснабжение. Электроустановки и сети 0,4 кВ многочисленны и разветвлены. Они определяются электроприемниками. На схеме условно показаны осветительная нагрузка, выпрямительное устройство, двигатель, нагревательное устройство. Эту часть (от ТП до отдельного электроприемника) на предприятии и в проектных организациях называют силовым электрооборудованием, а сети – цеховыми.

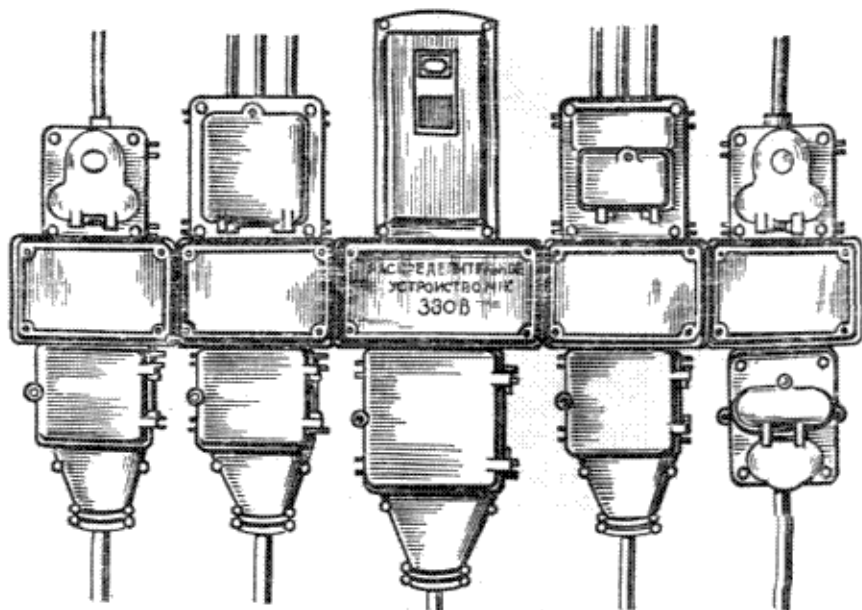
1.2. Деление системы электроснабжения на уровни; классификация каждого уровня.

Деление системы электроснабжения по напряжению до и выше 1000В традиционно. Теоретически и практически следует различать следующие уровни (ступени) системы электроснабжения.



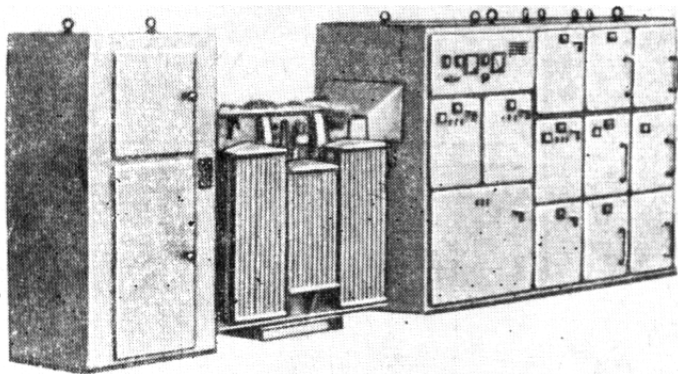
отдельный электроприемник

агрегат (станок) с многодвигательным приводом или другой группой электроприемников, связанных технологически или территориально и образующих единое изделие с определенной (документально обозначенной заводом-изготовителем) паспортной мощностью, - **первый уровень**, питающийся по одной линии, **1УР**



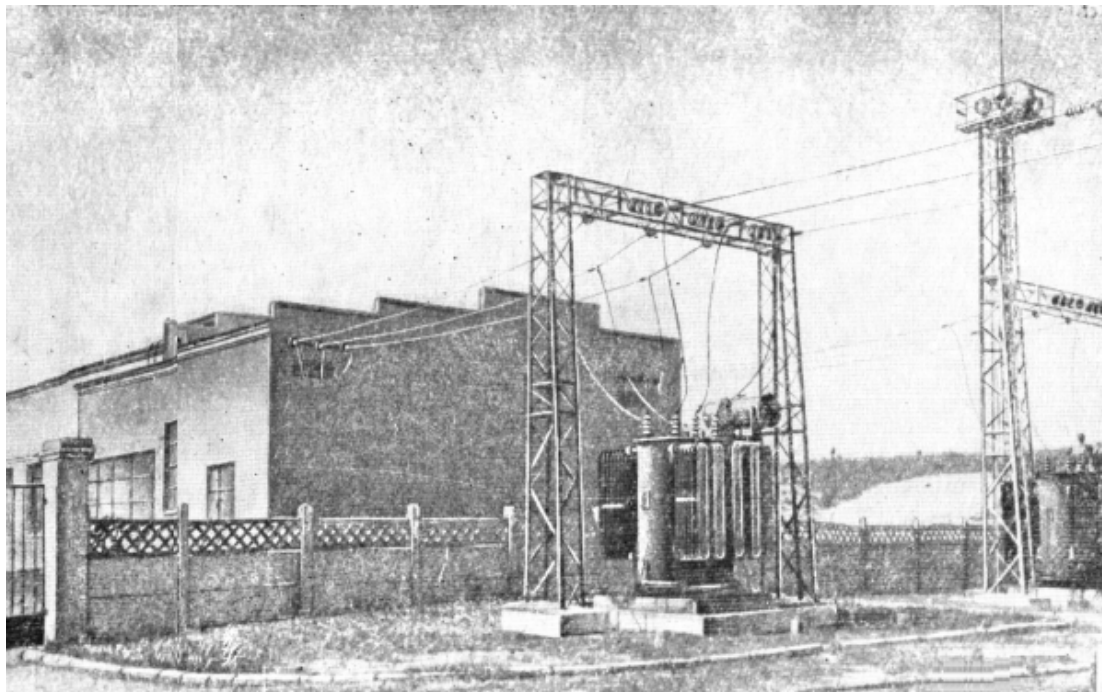
щиты распределительные напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока, щиты управления, шкафы силовые, вводно-распределительные, шинные выводы, сборки, магистрали – **второй уровень, 2УР**;

щит низкого напряжения трансформаторной подстанции 10(6)/0,4 кВ или сам трансформатор (при рассмотрении следующего уровня – загрузка трансформатора с учетом потерь в нем) – **третий уровень, 3УР**;



шины распределительные подстанции РП 10(6) кВ (при рассмотрении следующего уровня – загрузка РП в целом) – **четвертый уровень, 4УР**;

шины главной понизительной подстанции, подстанции глубокого ввода – пятый уровень, 5УР;



граница раздела предприятия и энергосистемы – шестой уровень, 6УР [заявляемый (договорной), лимитируемый, контролируемый и отчетный уровень].

В общем случае **6УР** – уровень потребителя электроэнергии – это в целом предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка. Уровень, называемый заводским электроснабжением, интегрирует нагрузки ГПП, ПГВ, ОП, ЦРП и распределительных устройств заводских ТЭЦ. С системой внешнего электроснабжения **6УР** связан линиями электропередачи, которые присоединены к источникам питания энергосистемы: районным и узловым подстанциям энергосистемы; ГРУ и РУ ТЭЦ, ГРЭС, ТЭС, ГЭС, АЭС; ГПП энергосистем, находящимся на территории предприятия. Сейчас эти внешние источники питания имеют номинальное напряжение от 6 до 750 кВ.

Распределительные подстанции **4УР** получают электроэнергию от ГПП или ТЭЦ на напряжении 10(6) кВ и предназначены для приема и распределения между цеховыми ТП и отдельными электроприемниками высокого напряжения (электродвигатели, преобразователи, электропечи).

5УР и 4УР относят к внецеховому электроснабжению, сети называют междоцеховыми (магистральными), а напряжение – распределительным. От **5УР** осуществляется электроснабжение крупного цеха или района (район конвертерного цеха, район ремонтных цехов и др.), от **4УР** питаются цеха, отдельные здания и сооружения.

Цеховые ТП предназначены для преобразования электроэнергии напряжением 10(6) кВ в напряжение 220/380, 660 В и питания на этом напряжении цеховых электрических сетей. К цеховым электрическим сетям 220/380 и 660 В присоединено большинство электроприемников промышленных предприятий.

1.3. Технические показатели электроприёмников

Электрической нагрузкой называют мощность, потребляемую электроустановкой в установленный момент времени. В случае переменного тока можно говорить о полной, активной и реактивной нагрузках.

Электрические нагрузки в системах электроснабжения могут быть во времени неизменными и переменными. Для большого числа электроприемников проявляется периодичность изменения нагрузки во времени, совпадающая с периодом производственного процесса. Изменения нагрузки во время такого периода изображаются при помощи графиков нагрузки, которые могут составляться на технологический цикл, на смену, на сутки, на год или на другие промежутки времени.

Пропускную способность элементов электроснабжения и номинальную мощность источников электроэнергии выбирают по максимальному или некоторому среднему за определенный промежуток времени значению нагрузки, которое называют расчетной нагрузкой.

Расчетная величина P_p определяет технические решения, диктуя затраты на изготовление электротехнических изделий, на создание и развитие энергосистем.

Для расчёта электрических нагрузок необходимо знать номинальные параметры питаемых установок

Рассмотрим основные из них:

1. По **роду тока** различают электроприемники переменного, постоянного и импульсного тока (к установкам импульсного тока относятся, например, сварочные трансформаторы).

2. **Число фаз** электроприемников переменного тока составляет чаще всего 3 или 1 (трех- и однофазные электроприемники).

3. По **частоте** переменного тока различают электроприемники промышленной, повышенной и пониженной частоты.

4. Одним из наиболее важных показателей электроприемника является **установленная мощность**, обозначенная на заводской табличке или в его паспортных данных. Установленная мощность группы электроприемников определяется как сумма номинальных мощностей однородных электроприемников

Для двигателей дается $P_{ном}$, кВт – мощность на валу электродвигателя: $P_{потр} = P_{ном} / КПД$. Если электропривод или двигатель работает в повторно-кратковременном режиме, учитывают показатель периодичности включения ПВ, %:

$P_{\text{потр}} = P_{\text{ном}} \sqrt{\Gamma_B}$. Для сварочных трансформаторов и электропечей дается мощность, потребляемая из сети S , кВА. Для крановых установок под номинальной мощностью одного крана подразумевается сумма номинальных мощностей двух наиболее мощных электродвигателей.

5. По **номинальному напряжению** электроприемников выбирают напряжение питающей сети. Для трехфазных электроприемников обычно имеют ввиду линейное напряжение.

6. **Потребление реактивной мощности** электроприемниками характеризуется коэффициентом мощности

$$\cos \varphi = P/S$$

где P – активная мощность;

S – полная мощность.

Или отношением реактивной мощности к активной

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

где Q – реактивная мощность.

7. **Пусковые токи** электроприемников и длительность этих токов необходимо знать для правильного выбора пропускной способности элементов системы электроснабжения и для расчета колебаний напряжения в сети при пуске электроприемников.

8. **Режим работы** электроприемников может быть длительным, кратковременным, повторно-кратковременным или более сложным.

9. По **подвижности** различают стационарные и нестационарные (подвижные, переносные и т.п.) электроприемники.

10. В отношении обеспечения **надежности** электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории.

Категории электроприемников по надежности электроснабжения определяются в процессе проектирования системы электроснабжения на основании нормативной документации, а также технологической части проекта.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории.

Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется *особая группа* электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники второй категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники третьей категории – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), предназначенные для этих целей агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. П.

Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить непрерывность технологического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийного останова технологического процесса, действующих при нарушении электроснабжения.

Электроснабжение электроприемников первой категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление нормального режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают

1 суток.

1.4. Общие требования при проектировании систем электроснабжения

При проектировании систем электроснабжения и реконструкции электроустановок должны рассматриваться следующие вопросы:

- 1) перспектива развития энергосистем и систем электроснабжения с учетом рационального сочетания вновь сооружаемых электрических сетей с действующими и вновь сооружаемыми сетями других классов напряжения;
- 2) обеспечение комплексного централизованного электроснабжения всех потребителей электрической энергии, расположенных в зоне действия электрических сетей, независимо от их принадлежности;
- 3) ограничение токов КЗ предельными уровнями, определяемыми на перспективу;
- 4) снижение потерь электрической энергии;
- 5) соответствие принимаемых решений условиям охраны окружающей среды.

При этом должны рассматриваться в комплексе внешнее и внутреннее электроснабжение с учетом возможностей и экономической целесообразности технологического резервирования.

При решении вопросов резервирования следует учитывать перегрузочную способность элементов электроустановок, а также наличие резерва в технологическом оборудовании.

При решении вопросов развития систем электроснабжения следует учитывать ремонтные, аварийные и послеаварийные режимы.

При выборе независимых взаимно резервирующих источников питания, являющихся объектами энергосистемы, следует учитывать вероятность одновременного зависимо-го кратковременного снижения или полного исчезновения напряжения на время действия релейной защиты и автоматики при повреждениях в электрической части энергосистемы, а также одновременного длительного исчезновения напряжения на этих источниках питания при тяжелых системных авариях.

Проектирование электрических сетей должно осуществляться с учетом вида их обслуживания (постоянное дежурство, дежурство на дому, выездные бригады и др.).

Работа электрических сетей напряжением 2-35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор.

Компенсация емкостного тока замыкания на землю должна применяться при значениях этого тока в нормальных режимах:

- в сетях напряжением 3-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ – более 10 А;
- в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи:
- более 30 А при напряжении 3-6 кВ;
- более 20 А при напряжении 10 кВ;
- более 15 А при напряжении 15-20 кВ;
- в схемах генераторного напряжения 6-20 кВ блоков генератор-трансформатор – более 5А.

При токах замыкания на землю более 50 А рекомендуется применение не менее двух заземляющих реакторов.

Работа электрических сетей напряжением 110 кВ может предусматриваться как с глухозаземленной, так и с эффективно заземленной нейтралью.

Электрические сети напряжением 220 кВ и выше должны работать только с глухозаземленной нейтралью.

Система электроснабжения завода состоит из питающих, распределительных, трансформаторных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабельных и воздушных сетей и токопроводов высокого и низкого напряжения.

Система электроснабжения строится таким образом, чтобы она была надежна, удобна и безопасна в обслуживании и обеспечивала необходимое качество энергии и бесперебойность электроснабжения в нормальном и послеаварийном режимах. В то же время система электроснабжения должна быть экономичной по затратам, ежегодным расходам, потерям энергии и расходу дефицитных материалов и оборудования. Для этого применяются связи между электрическими сетями различных ведомств, а также объединяется питание промышленных, коммунальных и других потребителей вплоть до создания единых электрических сетей. Это создает возможность экономичных решений высокой надежности с минимальными затратами на резервирование. При проектировании для предприятий собственных электростанций, главных понизительных подстанций и других источников питания учитываются близлежащие внезаводские потребители электроэнергии. Особенно это необходимо в районах, недостаточно охваченных энергосистемами.

1.5. Напряжения питающих и распределительных сетей

По номинальному напряжению электроустановки в РФ подразделяются на электроустановки до 1 000 В и выше 1 000 В.

В ГОСТ приняты следующие номинальные напряжения:

в сетях до 1000 В: 36; 220/127; 380/220; 660/380 В;

в сетях выше 1000 В: (3); 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 кВ.

В числителе указаны линейные напряжения, а в знаменателе — фазные.

Напряжения генераторов и вторичных обмоток понизительных силовых трансформаторов принимаются на 5% выше номинальных напряжений, чтобы компенсировать потери напряжения в сети.

В питающих и распределительных сетях промышленных предприятий применяются напряжения от 6 до 220 кВ. К очень крупным предприятиям подводятся напряжение 330 и даже 500 кВ радиальными линиями или от транзитных магистралей. Выбор величины наивыгоднейшего напряжения зависит от многих факторов, основными из которых являются мощность, потребляемая предприятием, его удаленность от источника питания и напряжение, на котором может производиться питание. На предприятиях, потребляющих небольшую мощность и отстоящих недалеко от источника питания, для распределения электроэнергии обычно применяется напряжение питающей сети 10 или 6 кВ. Это удешевляет схему, делает ее более простой и надежной, так как отпадает так же промежуточное звено, как трансформаторы. Если же источник питания удален, а передаваемая мощность значительна, то на предприятиях средней мощности питание подводится на напряжении 110 или 35 кВ с последующей трансформацией на 10 или 6 кВ. В том случае, когда предприятие не имеет значительного числа электродвигателей высокого напряжения, подводимое напряжение 35кВ иногда применяется также и для основного распределения электроэнергии по предприятию. Линии 35кВ вводятся на территорию предприятия в виде магистралей, к которым присоединяются трансформаторы 35/0,4-0,66 кВ без применения промежуточного напряжения 6 или 10 кВ; схема получается более дешевой и надёжной. Однако применение этой схемы сдерживается из-за отсутствия комплектных распредустройств напряжением 35кВ.

Напряжение 35 кВ применяется также для непосредственного (без промежуточной трансформации) питания удаленных нагрузок и крупных электроприемников (сталеплавильные электропечи, мощные ртутно-выпрямительные установки и др.).

На крупных предприятиях распределение электроэнергии на первой ступени производится на напряжении внешней питающей сети 110 кВ, а иногда 220 кВ с применением глубоких вводов питающих линий 110—220 кВ. Преимущественно применяются глубокие вводы на напряжение 110 кВ. Глубокие вводы 220 кВ целесообразны в тех случаях, когда это, напряжение является питающим и, следовательно, не потребуются промежуточной трансформации. Если же напряжение питающей сети выше 220 кВ, т. Е. 330 или 500 кВ, и на границе предприятия сооружается приемная трансформаторная подстанция, то выгоднее применить глубокие вводы на напряжение 110 кВ, так как линии 110 кВ имеют меньшие габариты, чем линии 220 кВ, и их легче разместить на загруженной территории предприятия. Что же касается потерь напряжения и потерь энергии, то при коротких линиях глубоких вводов (не более 1,5—2 км) это не имеет существенного значения.

На второй ступени электроснабжения (как на крупных, так и на средних предприятиях) применяется напряжение 10 или 6 кВ. Напряжение 10 кВ выгоднее, чем 6 кВ, по потерям электроэнергии и по расходу цветного металла, так как сечение линий получается меньше. Однако внедрению напряжения 10кВ пока препятствует ограниченный диапазон электродвигателей 10кВ, которые в настоящее время изготавливаются лишь начиная с мощности 630—1000 кВт. К тому же и ассортимент этих двигателей еще не полон. Поэтому напряжение 10 кВ в ряде случаев получается неэкономичным по сравнению с напряжением 6кВ на тех предприятиях, на которых имеется большое количество электродвигателей мощностью 200—1000 кВт. В дальнейшем при снижении нижнего предела мощности двигателей на напряжение 10 кВ область применения этого напряжения увеличится. Напряжение 10кВ целесообразно применять на тех предприятиях, на которых нет значительного числа электродвигателей высокого напряжения (металлообрабатывающие, деревообрабатывающие, текстильные и др.) или на тех предприятиях, где среди высоковольтных электродвигателей преобладают двигатели мощностью выше 630 кВт.

Иногда применение напряжения 10 или 6 кВ определяется величиной напряжения, генераторов собственной ТЭЦ, особенно в тех случаях, когда от последней питается значительная часть предприятия. Напряжение 6 кВ применяется на предприятиях, имеющих значительное число электроприемников на это напряжение, в частности электродвигателей (горно-обогатительных, черной и цветной металлургии, цементной промышленности и др.), где удельный вес таких электроприемников достигает 50-60% от их общей мощности. В некоторых случаях напряжение 6 кВ бывает predetermined поставкой электродвигателей на это напряжение комплектно с производственным оборудованием.

При основном сетевом напряжении 10 кВ и наличии электродвигателей 6 кВ их питание может быть осуществлено одним из следующих способов:

1. Применение на подстанциях глубоких вводов (ПГВ) или на главной понизительной подстанции (ГПП) трансформаторов с расщепленными вторичными обмотками (см. ниже), одна из которых имеет напряжение 10 кВ, а другая напряжение 6 кВ. Такой способ наиболее экономичен. Он целесообразен в тех случаях, когда нагрузки 6 и 10 кВ соизмеримы, т. Е. суммарная мощность электродвигателей 6 кВ значительна и приближается к половине мощности трансформатора.

2. Питание от отдельных подстанций через промежуточные трансформаторы 10/6 кВ. Это целесообразно в тех случаях, когда суммарная мощность электродвигателей 6кВ значительна, но недостаточна для рациональной нагрузки ветви 6 кВ расщепленной обмотки трансформатора и в то же время число электродвигателей 6кВ велико, а их единичные мощности относительно небольшие.

3. Питание при помощи блока трансформатор — двигатель в тех случаях, когда число двигателей невелико, мощности их значительны и они расположены обособленно друг от друга.

Второй и третий способы менее экономичны, так как они требуют затрат на промежуточную трансформацию и вызывают дополнительные потери электроэнергии в трансформаторах.

Напряжение 3 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети давно не применяется. Оно иногда использовалось в качестве промежуточного напряжения при системе основного распределения электроэнергии на напряжении 10 кВ для питания электродвигателей мощностью от 100 до 200—350 кВт. В связи с введением в ГОСТ напряжения 660В и расширением диапазона мощностей электродвигателей, изготавливаемых на напряжение 6 кВ, область применения напряжения 3 кВ практически отпала. При реконструкции и расширении старых предприятий с распределительными сетями 3 кВ их следует переводить на напряжение 10 или 6 кВ. Поэтому при пересмотре ГОСТ на номинальные напряжения напряжение 3 кВ было взято в скобки как не рекомендуемое. Оно оставлено лишь для замены или незначительного дополнения электрооборудования на действующих предприятиях впредь до их реконструкции.

Напряжение 20 кВ, являющееся промежуточным между напряжениями 10 и 35 кВ, имеет некоторые принципиальные преимущества перед последними. Его легче применить во внутрицеховых сетях, чем напряжение 35 кВ, для этого потребуются более легкие и дешевые аппараты и кабели, чем при 35 кВ. При напряжении 20 кВ снижаются годовые расходы по сравнению с напряжением 6 и 10 кВ за счет уменьшения потерь электроэнергии в сетях, трансформаторах и другом электрооборудовании; уменьшаются токи короткого замыкания в сетях, несколько облегчается питание отдельных удаленных потребителей как самого предприятия, так и ближайшего района. Однако несмотря на это, напряжение 20 кВ не находит применения на промышленных предприятиях, так как оно является недостаточным для современных крупных предприятий в качестве единого напряжения и на первых ступенях электроснабжения приходится применять более высокие напряжения. Кроме того, на предприятиях, имеющих собственные ТЭЦ, затрудняются и удорожаются связи последних с сетями 20кВ, так как на это напряжение изготавливаются только очень мощные генераторы. Поэтому для осуществления связей пришлось бы прибегать к промежуточным трансформациям.

В электроустановках напряжением до 1000 В применяется напряжение 380/220 В с питанием силовых и осветительных электроприемников от общих трансформаторов, но, как правило, от отдельных сетей. Такая практика подтверждена произведенными в 1969 г. специальными расчетами.

Напряжение 220/127 В применяется очень редко на реконструируемых или расширяемых предприятиях, на которых остается много электроустановок с вышеуказанным напряжением, или же в тех случаях, когда для освещения целесообразно применение отдельных трансформаторов или специальных промежуточных трансформаторов 660/230/133 и 380/230/133 В.

Для местного освещения в помещениях без повышенной опасности применяется напряжение, одинаковое напряжением общего освещения, принятого на

данном предприятии. В помещениях с повышенной опасностью особо опасных для стационарного местного освещения ручных переносных ламп обычно применяется напряжение 36 В и только при особо неблагоприятных условиях в отношении опасности поражения электрическим током (например, при работе в котлах или других металлических резервуарах) для питания ручных переносных ламп применяется напряжение не выше 12 В.

Напряжение 660В применяется очень мало. Электрооборудование на это напряжение выпускается пока в очень ограниченном количестве и ассортименте. Целесообразность применения этого напряжения неодинакова для разных отраслей промышленности. Наиболее целесообразно оно на тех предприятиях, на которых по условиям генплана, технологии и окружающей среды нельзя широко применить приближение цеховых трансформаторов к центрам питаемых ими нагрузок. На таких предприятиях (например, в угольных шахтах) приходится прокладывать протяженные и разветвленные кабельные сети большого сечения напряжением до 1000 В. Напряжение 660 В может оказаться целесообразным также на предприятиях с очень большой удельной плотностью электрических нагрузок и концентрацией мощностей, которые продолжают возрастать на химических, нефтехимических, шинных и т. П. предприятиях. Вследствие этого экономические мощности цеховых трансформаторов возрастают с 630—1000 КВА до 1600-2500 КВА и более. Соответственно увеличиваются токи к. з. и номинальные рабочие токи на вторичном напряжении и при напряжении 380 В они становятся недопустимыми для аппаратов низкого напряжения, т.е. напряжение 380 В становится уже технически неприемлемым. При напряжении же 660 В токи к. з. уменьшаются за счет увеличения сопротивлений. Рабочие токи также становятся меньше. В некоторых случаях при напряжении 660 В удастся упростить схему электроснабжения и компоновки распределительных устройств 6-10 кВ за счёт сокращения сети напряжением выше 1000 В.

Наиболее целесообразно напряжение 660 В в сочетании с первичным напряжением 10 кВ. При этом полностью реализуется экономия, получаемая за счет удешевления электродвигателей 660 В мощностью 250-630 кВт и за счет их более высокого к. п. д. по сравнению с двигателями высокого напряжения, а также за счет уменьшения потерь электроэнергии в сети 660 < по сравнению с сетью 380 В. В этом случае отпадает необходимость в менее экономичном напряжении 6 кВ. В то же время необходимо отметить, что при применении напряжения 660 В частично сохраняется сеть 380/220 В в объеме, необходимом для питания мелких электродвигателей, осветительных электроприемников катушек пускателей, цепей управления и измерения, которые не могут быть подключены непосредственно к сети 660 В. Это приводит к удорожанию электрохозяйства предприятия и несколько осложняет его эксплуатацию, так как появятся два напряжения — 660 и 380 В. Поэтому выбор напряжения 660 В должен быть в каждом отдельном случае обоснован технико - экономическими расчетами.

1.6. Источники питания и пункты приёма электроэнергии

Источниками питания (ИП) предприятий являются собственные электрические станции (ТЭЦ или ЦЭС) линии, связывающие распределительную сеть предприятий с электрическими станциями или с сетью электрической системы района, или же с сетью коммунальной (или другой) электрической станции.

К независимым источникам питания относятся источники, на которых сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках. Такими источниками являются распределительные устройства двух электростанций или подстанций. Согласно Правилам устройства электроустановок две секции сборных шин электростанции или подстанций также относятся к независимым источникам, если одновременно соблюдены следующие условия: каждая из секций имеет питание от независимого источника; секции не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключаемую при нарушении нормальной работы одной из секций.

Необходимо иметь в виду, что две системы шин на ИП, если одна из них (рабочая) не секционирована, нельзя рассматривать как независимые источники питания. Если повредится рабочая не секционированная система шин, то отключаются все питающие линии для восстановления питания необходимо переключить эти линии на вторую неповрежденную систему шин. Это потребует много времени, так как не может быть автоматизировано. Значит, требования к надежности питания нагрузок 1-й категории в данном случае не обеспечены. Во избежание этого нужно разделить все питающие и отходящие линии между двумя системами шин, которые будут являться как бы двумя секциями сборных шин, а шиносоединительный выключатель будет играть роль секционного. Он может быть или постоянно отключён и автоматически включаться, или же постоянно включен и автоматически отключаться при аварии. При таком режиме схема будет удовлетворять требованиям ПУЭ, так как даже при повреждении одной системы шин отключится только половина потребителей, которая затем может быть переключена на вторую здоровую систему шин, и питание полностью восстановится.

Практика последнего времени показала, что даже при наличии вышеупомянутых двух независимых источников питания может иметь место полное или частичное «погашение» предприятия. Поэтому для обеспечения бесперебойного питания «особых» групп электроприемников предусматривается третий, аварийный источник. Его мощность очень мала и выбирается из расчёта питания только тех механизмов и устройств, которые обеспечивают безаварийную остановку предприятия. В качестве таких аварийных источников могут быть применены небольшие дизельные станции, бензиновые двигатели, аккумуляторные батареи или же электрические связи с ближайшими независимыми источниками, которые остаются в работе при обесточивании предприятия, а в нормальном режиме не используются вовсе или используются не на полную пропускную способность. Не следует необоснованно завышать мощность третьего источника.

Основными и надежными источниками питания предприятий электроэнергией являются электростанции и сети районных энергосистем, у которых, кроме того, стоимость электроэнергии дешевле, чем на собственных заводских электростанциях. Собственные заводские электростанции сооружаются в том случае, если они необходимы для комбинированного снабжения предприятия электроэнергией и теплом и производят электрическую энергию в соответствии с графиком тепловых нагрузок. Но они зачастую располагают сравнительно небольшой мощностью, и поэтому главным источником питания и в этом случае остается энергосистема. В тех случаях, когда для производства нужно много тепла или же предприятие очень удалено от мощной энергосистемы, собственная электростанция может явиться одним из основных источников питания. Но и при этом она обязательно связывается с ближайшей районной энергосистемой.

На некоторых предприятиях при авариях в энергосистеме, связанных с потерей значительных генерирующих мощностей и снижением частоты, нарушением устойчивости и качаниями, может быть предусмотрена делительная защита,

отделяющая от энергосистемы заводскую электростанцию с целью сохранения ее в работе для питания наиболее ответственных производственных электронагрузок от собственного источника. Если не предусмотреть, в этих случаях делительной защиты то вся нагрузка района ляжет на сравнительно маломощную собственную электростанцию, она тоже будет вынуждена отключиться, и может произойти полное «погашение» предприятия. Но делительную защиту нужно делать только при согласии на это энергосистемы, так как в некоторых случаях связь с заводской станцией бывает, необходима для разворота электростанций системы после крупной аварии.

Мелкие предприятия в городах питаются от коммунальных сетей. Если предприятие невелико, потребляет небольшую мощность (в пределах 800—3000 кВт), производственные здания не разбросаны и нет особых требований к бесперебойности электроснабжения, то электроэнергия от источника питания может быть подведена к одному трансформаторному или распределительному пункту. Если же предприятие потребляет более значительную мощность, группы электроприемников расположены в удаленных друг от друга местах и имеются повышенные требования к бесперебойности электроснабжения, то питание целесообразно подводить к двум и более приемным пунктам. Пункты приема электроэнергии выполняются по-разному в зависимости от величины подводимой мощности и напряжения питающих линий.

Когда источник питания близок и потребная мощность сравнительно невелика, то электроэнергия подводится по линиям 6 или 10 кВ к распределительным пунктам (РП), которые служат для приема и распределения электроэнергии без ее преобразования или трансформации. Иногда распределительный пункт совмещается с одной из цеховых трансформаторных подстанций (ТП), обслуживающей ближайших потребителей. От РП электроэнергия распределяется по цеховым подстанциям (ТП) и подводится к электроприёмникам высокого напряжения (электродвигателям электропечам и др.). В этих случаях напряжение питающей и распределительных сетей совпадают и не требуется промежуточной трансформации подводимой энергии.

Цеховыми ТП называются подстанции, преобразующие электроэнергию на пониженное напряжение и непосредственно питающие потребителей одного или нескольких прилегающих цехов или часть большого цеха. В ряде случаев от этих же подстанций питаются близко расположенные потребители высокого напряжения. На небольших предприятиях энергия принимается непосредственно на ТП. Если же предприятие потребляет значительную (более 40 МВА) мощность, а источник питания удален, то энергия подводится на более высоком напряжении — 35, 110 и даже 220 кВ, а в отдельных случаях, на очень крупных предприятиях, от электросетей 330 и 500 кВ. В этих случаях приём электроэнергии производится на узловых распределительных подстанциях (УРП) или главных понизительных подстанциях (ГПП).

Узловой распределительной подстанцией напряжением 110-500 кВ называется центральная подстанция предприятия на напряжение 110 – 500 кВ, получающая энергию от энергосистемы и распределяющая ее по подстанциям глубоких вводов (ПГВ) 35—220 кВ на территории предприятия. При питании на напряжении 35-220 кВ узловые подстанции обычно бывают чисто распределительными, а при напряжении 330-500 кВ появляется кроме чисто транзитных линий, частичная трансформация на напряжение 110 кВ для распределения энергии внутри предприятия. В некоторых случаях УРП совмещается с ближайшей районной подстанцией, если основная часть энергии потребляется данным предприятием.

Главной понизительной подстанцией называется подстанция, получающая питание непосредственно от районной энергосистемы и распределяющая энергию на

более низком напряжении (обычно 10 или 6 кВ) по всему предприятию или отдельному его району.

Подстанцией глубокого ввода называется подстанция напряжением 35—220 кВ, получающая питание непосредственно от энергосистемы или от УРП данного предприятия, предназначенная для питания отдельного объекта или района предприятия и расположенная вблизи основных нагрузок этого объекта, непосредственно на территории предприятия. Подстанции глубокого ввода должны быть выполнены по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении (см. ниже).

Пункты приема электроэнергии обычно связываются друг с другом и с собственными электростанциями завода отдельными связями или через распределительную сеть.

1.7. Конструктивное выполнение сетей

Линии могут быть воздушными, кабельными и токопроводами. Подстанции могут быть открытыми и закрытыми.

Для графического изображения электроэнергетических систем, а также отдельных элементов и связи между элементами используют общепринятые условные обозначения.



Рис. 1.2. Условные обозначения элементов системы основных элементов электроэнергетической системы.

Примерная схема относительно простой электроэнергетической системы приведена на рис. 1.3.

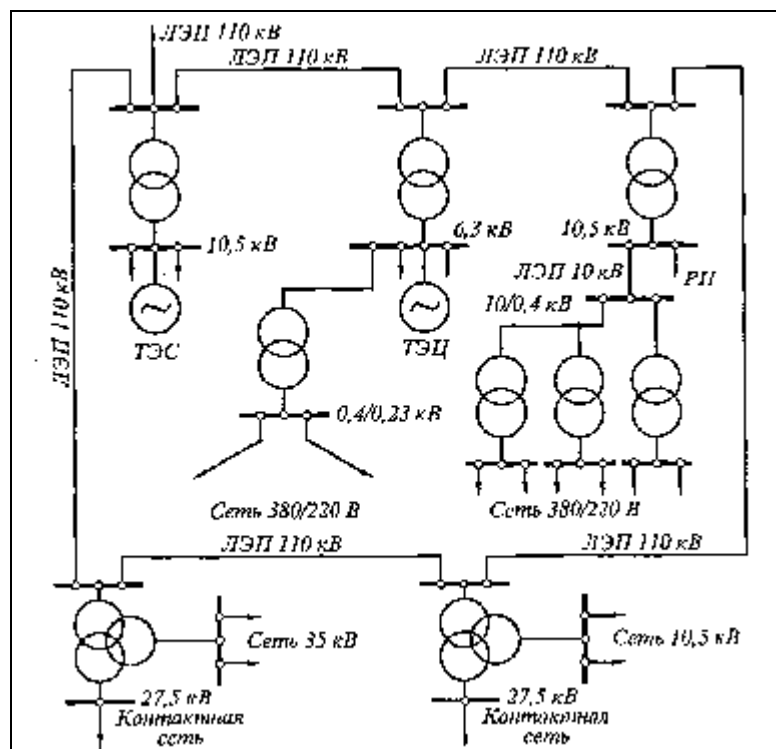


Рис. 1.3. Схема электрической системы

Здесь электрическая энергия, вырабатываемая на двух электростанциях различных типов: тепловой электростанции (ТЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), - подводится к потребителям, удаленным друг от друга. Для того чтобы передать электроэнергию на расстояние, ее предварительно преобразовывают, повышая напряжение трансформаторами. У мест потребления электроэнергии напряжение понижают до нужной величины. Из схемы можно понять, что электроэнергия передается по воздушным линиям. Схема, приведенная на рис. 1.3, представлена в однолинейном изображении. В действительности элементы системы, работающие на переменном токе, имеют трехфазное исполнение. Однако для выявления структуры системы и анализа ее работы нет необходимости в ее трехфазном изображении, вполне достаточно воспользоваться ее однолинейным изображением.

1.8. Электрические параметры электроэнергетических систем

При анализе работы сети различают параметры элементов сети и параметры ее режимов. Параметрами элементов электрической сети являются сопротивления и проводимости, коэффициенты трансформации. К параметрам сети также относят электродвижущую силу (э.д.с.) источников и задающие токи (мощности) нагрузок. К параметрам режима относятся: значения частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, фазовых углов, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значения, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжений или токов и несинусоидальность изменения напряжения и токов в течение периода основной частоты.

Под режимом сети понимается ее электрическое состояние.

Рассмотрим возможные режимы работы электрических систем.

При работе в нормальном установившемся режиме значения основных

параметров (частоты и напряжения) равны номинальным или находятся в пределах допустимых отклонений от них, значения токов не превышают допустимых по условиям нагревания величин. Нагрузки изменяются медленно, что обеспечивает возможность плавного регулирования работы электростанций и сетей и удержание основных параметров в пределах допустимых норм. Отметим, что нормальным считается режим и при включении и отключении мощных линий или трансформаторов, а также для резкопеременных (ударных) нагрузок. В этих случаях после завершения переходного процесса, который продолжается доли секунды, вновь наступает установившийся нормальный режим, когда значения параметров в контрольных точках системы оказываются в допустимых пределах.

В переходном не установившемся режиме система переходит из установившегося нормального состояния в другое установившееся с резко изменившимися параметрами. Этот режим считается аварийным и наступает при внезапных изменениях в схеме и резких изменениях генераторных и потребляемых мощностей. В частности, это имеет место при авариях на станциях или сетях, например при коротких замыканиях и последующем отключении поврежденных элементов сети, резком падении давления пара или напоров воды и т.д. Во время аварийного переходного режима параметры режима системы в некоторых ее контрольных точках могут резко отклоняться от нормированных значений.

Послеаварийный установившийся режим наступает после локализации аварии в системе. Этот режим чаще всего отличается от нормального, так как в результате аварии один или несколько элементов системы (генератор, трансформатор, линия) будут выведены из работы. При послеаварийных режимах может возникнуть так называемый дефицит мощности, когда мощность генераторов в оставшейся в работе части системы меньше мощности потребителей. Параметры послеаварийного (форсированного) режима могут в той или иной степени отличаться от допустимых значений. Если значения этих параметров во всех контрольных точках системы являются допустимыми, то исход аварии считается благополучным. В противном случае исход аварии неблагоприятен и диспетчерская служба системы принимает немедленные меры к тому, чтобы привести параметры послеаварийного режима в соответствие с допустимыми.

1.9. Управление электроэнергетическими системами

Особенностью работы электроэнергетических систем является то, что электростанции должны вырабатывать столько мощности, сколько ее требуется в данный момент для покрытия нагрузки потребителей, собственных нужд станций и потерь в сетях. Поэтому оборудование станций и сетей должно быть готово ко всякому периодическому изменению нагрузки потребителей в течение суток или года. Для того чтобы наиболее экономично эксплуатировать электрическую станцию, персоналу диспетчерских служб энергосистемы необходимо заранее знать, как изменяется спрос на электрическую энергию. Зная эти изменения, персонал может подготовить остановку необходимого числа генераторов при снижении нагрузки и, наоборот, подготовить к пуску резервные генераторы при увеличении потребления энергии.

Энергосистемы оборудуются специальными диспетчерскими пунктами, которые оснащаются средствами контроля, управления, связью, четкой мнемонической схемой расположения электростанций, ЛЭП и понижающих подстанций.

Отличительной особенностью диспетчерской службы является полная ответственность диспетчера за работу электростанций, электросетей и электроснабжение потребителей. Распоряжение диспетчера является законом и должно безоговорочно выполняться всеми звеньями энергосистемы.

Основной целью управления энергосистемой является оптимизация ее построения,

работы и эксплуатации. Для этого необходимо знать:

- свойства и характеристики системы;
- данные о состоянии технологического процесса на электростанциях (о расходе воды и топлива, параметрах пара, скорости вращения турбин и т.д.);
- сведения об электрических параметрах режима (частоте, напряжениях, токах, активных и реактивных мощностях и т.д.);

положение схемы системы – какие элементы в данный момент находятся в работе, а какие отключены.

Вся эта обширная информация о работе энергосистемы должна перерабатываться и использоваться для оптимизации режима работы.

В системе управления электроэнергетикой большое значение имеют электронные цифровые вычислительные машины.

При аварии дежурный инженер должен найти пути и средства восстановления нормального режима, произвести требуемые переключения в схеме электрических соединений. При аварийных режимах в энергосистеме часто требуется выдать управляющий сигнал не более чем через 0,05 с. Человека здесь выручают автоматические устройства, обладающие при переработке информации большим, чем он, быстродействием.

1.10. Структура потребителей и понятие о графиках их электрических нагрузок

В зависимости от выполняемых функций, возможностей обеспечения схемы питания от энергосистемы, величины и режимов потребления электроэнергии и мощности, особенностей правил пользования электроэнергией потребителей электроэнергии принято делить на следующие основные группы:

- промышленные и приравненные к ним;
- производственные сельскохозяйственные;
- бытовые;
- общественно-коммунальные (учреждения, организации, предприятия торговли и общественного питания и др.).

К промышленным потребителям приравнены следующие предприятия: строительные, транспорта, шахты, рудники, карьеры, нефтяные, газовые и другие промыслы, связи, коммунального хозяйства и бытового обслуживания.

Промышленные потребители являются наиболее энергоемкой группой потребителей электрической энергии.

Каждая из групп потребителей имеет определенный режим работы. Так, например, электрическая нагрузка от коммунально-бытовых потребителей с преимущественно осветительной нагрузкой отличается большой неравномерностью в различное время суток. Днем нагрузка небольшая, к вечеру она возрастает до максимума, ночью она резко падает и к утру вновь возрастает. Электрическая нагрузка промышленных предприятий более равномерна в течение дня и зависит от вида производства, режима рабочего дня и числа смен.

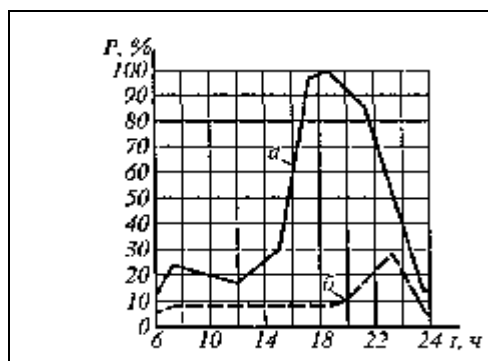


Рис. 1.4. Суточные графики осветительной нагрузки города: *a* – зимой; *б* – летом.

Наглядное представление о характере изменения электрических нагрузок во времени дают графики нагрузок. По продолжительности они могут быть суточными и годовыми. Если откладывать по оси абсцисс часы суток, а по оси ординат потребляемую в каждый момент времени мощность в процентах от максимальной мощности, то получим суточный график нагрузки.

На рис. 1.4 изображены суточные графики осветительной нагрузки города для зимнего (октябрь – март) и летнего (апрель – сентябрь) периодов. Максимальная нагрузка для зимних суток наступает между 17 и 20 ч (кривая *a*), а для летних суток – между 22 и 23 ч (кривая *б*). Таким образом, летний максимум (мощность в часы пик) наступает позднее и значительно меньше по величине, чем зимой. Дневной минимум также уменьшается.

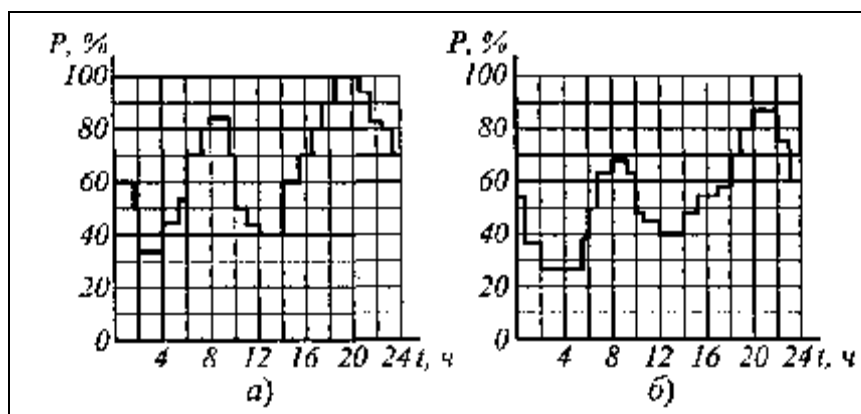


Рис. 1.5. Суточные графики электрической нагрузки крупного города: *a* — зимой; *б* — летом.

На рис.1.5 изображены характерные суточные графики активной мощности (в процентах от максимальной мощности) крупного города с учетом нагрузок освещения, а также силового оборудования коммунальных предприятий, электрифицированного транспорта и др.

1.11. Преимущества объединения электроэнергетических систем

Объединение энергетических систем вызвано огромными преимуществами по сравнению с отдельными станциями.

При создании объединенных энергетических систем можно уменьшить суммарную установленную мощность электростанций.

Большая совокупность потребителей электрической энергии характеризуется графиком нагрузки (см. рис. 1.6). Максимум суммарной нагрузки системы меньше, чем сумма максимумов нагрузок отдельных потребителей. Это объясняется несовпадением

отдельных максимумов из-за различных условий работы потребителей. В энергетических системах, охватывающих обширные географические районы, несовпадение максимумов вызвано расположением потребителей в разных часовых поясах. Например, объединение потребителей, размещенных в европейской и сибирской частях страны, позволит получить более равномерный суммарный график по сравнению с графиком нагрузки отдельных потребителей (рис.5). Установленная мощность электростанций в системе должна быть достаточной для покрытия максимальных нагрузок потребителей. Кроме того, исходя из требований, предъявляемых к надежности работы систем, должна предусматриваться резервная мощность генераторов. При параллельной работе электрических станций резервная мощность может быть уменьшена. Покажем это на простом примере. Пусть две электростанции, каждая из которых имеет по четыре генератора, работают изолированно. Тогда одна станция может вырабатывать электрическую энергию, используя 75% установленной мощности, так как один генератор должен находиться в резерве. При соединении двух станций общей сетью в резерве находится один генератор из восьми, т.е. может быть использовано $7/8$ (87,5%) установленной мощности.

При объединении разных типов электростанций можно более полно использовать гидроэнергетические ресурсы.

Расход воды в реке колеблется в больших пределах. Для надежного снабжения электроэнергией потребителей мощность гидроэлектростанции (ГЭС) при изолированной ее работе нужно выбирать исходя из обеспеченного расхода воды. В случае больших расходов часть воды пришлось бы сбрасывать мимо турбин.

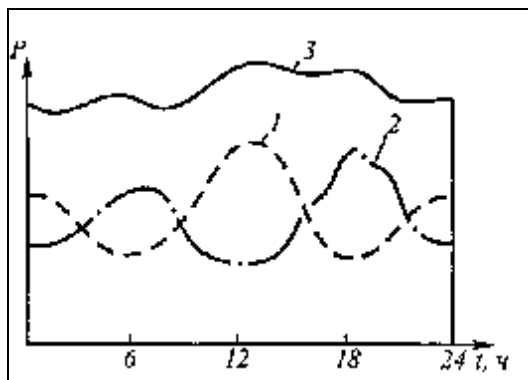


Рис. 1.6. Эффект совмещения графиков нагрузок потребителей, расположенных в разных часовых поясах:

1,2 — графики нагрузок отдельных подсистем; 3 — график объединенной системы.

Объединение нескольких электростанций разных видов позволяет повысить экономичность выработки электроэнергии.

Энергетические системы дают возможность согласованно работать тепловым и гидроэлектростанциям. В самом деле, в период недостатка воды на ГЭС (зимой) выработка электроэнергии на них снижается, и потребители обеспечиваются электроэнергией в большей мере от ТЭС. Наоборот, летом при большом притоке воды ГЭС работают на полную мощность, а выработка электроэнергии ТЭС снижается. Это обеспечивает экономию топлива и, следовательно, уменьшает себестоимость электроэнергии. Примерное распределение электрических нагрузок между станциями различных видов показано на суточном графике нагрузок в целом энергосистемы и доли в его покрытии различных видов электрических станций (рис. 1.6).

Из суточного графика энергосистемы видно, что в основном нагрузки покрывают тепловые конденсационные электростанции — государственные районные электростанции (ГРЭС). Доля ТЭС в покрытии нагрузок энергосистемы определяется их тепловыми графиками. Нагрузка ГЭС определяется стоком реки. Электростанции,

подключаемые к системе в часы наибольших (пиковых) нагрузок, называют пиковыми. В большинстве случаев пиковыми станциями являются гидростанции (ГЭС и ГАЭС – гидроаккумулирующие электростанции), не обеспеченные водой для длительной работы не в полную мощность в некоторые периоды, и станции, оборудованные газовыми турбинами.

Объединение энергосистем позволяет увеличить единичные мощности агрегатов.

С возрастанием мощностей агрегатов улучшаются их технические характеристики, и снижается удельная стоимость выработки электроэнергии.

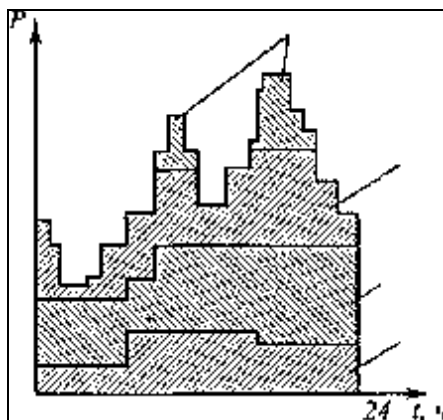


Рис. 1.7. Примерные суточные графики нагрузок энергосистемы и электрических станций

Создание объединенных энергосистем позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей.

Отдельные элементы системы (генераторы, трансформаторы, ЛЭП и др.) в результате аварий могут выходить из строя. В этих случаях часть потребителей может потерять питание. В схеме, показанной на рис.1.8, при возникновении трехфазного короткого замыкания на ЛЭП полностью прекращается подача электроэнергии потребителям. Применение устройств релейной защиты и автоматики является эффективным средством повышения надежности. *Релейной защитой* называется система устройств, которые производят отключение поврежденных элементов или частей системы и локализуют аварию. К автоматическим устройствам относятся устройства автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического ввода (включения) резерва (АВР). Устройства АПВ (рис. 1.9) предназначены для ликвидации «переходящих» повреждений, например коротких замыканий. При появлении дугового короткого замыкания на воздушной линии (например, при попадании молнии) она отключается под действием релейной защиты, дуга гаснет и восстанавливаются диэлектрические свойства воздушного промежутка. Затем под действием АПВ автоматически включается напряжение на линии электропередачи, которая может продолжить успешную работу.

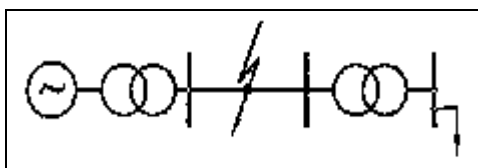


Рис.1.8. Схема прекращения подачи электроэнергии потребителям при трехфазном коротком замыкании.

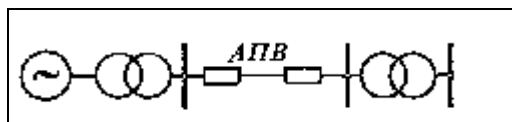


Рис. 1.9. Схема повышения надежности электроснабжения с помощью АПВ.

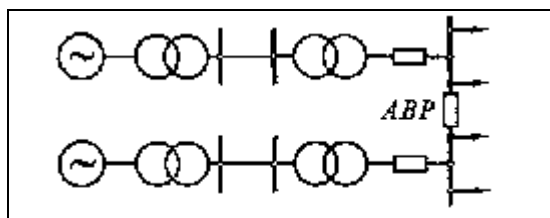


Рис. 1.10. Схема повышения надежности электроснабжения с помощью АВР.

Принцип работы АВР поясняет рис. 1.10. При повреждении одного из трансформаторов автоматически под действием релейной защиты происходит его отключение, а оставшиеся без напряжения потребители после срабатывания АВР подключаются к исправному трансформатору.

1.12. Организация взаимоотношений между энергосистемой и потребителями

Взаимоотношения между энергосистемой и потребителями регламентированы. Правилами пользования электрической энергией. Их в определенной мере можно разделить на юридически-правовые, технико-экономические и оперативно-диспетчерские.

К *юридически-правовым* вопросам относятся следующие:

регламентация порядка присоединения электроустановок потребителей к энергосистеме. Различные по составу и присоединяемой мощности потребители ставят перед энергосистемой задачи разной сложности присоединения;

разграничения балансовой принадлежности оборудования и сетей и эксплуатационной

ответственности между потребителем и энергосистемой;

выбор соответствующих тарифов и системы расчета за электроэнергию;

определение условий электроснабжения потребителей в период возникновения в энергосистеме временных дефицитов мощности или энергии в целях сохранения устойчивости режима системы и ее разгрузки за счет отключения части потребителей;

определение порядка допуска персонала энергосистемы в электроустановки потребителей для оперативных переключений и для контроля над режимом электропотребления;

регламентация ответственности энергосистемы и потребителей за электроснабжение, качество электроэнергии и соблюдение правил пользования электроэнергией.

Технико-экономические вопросы взаимоотношений между энергосистемой и потребителем связаны с разработкой и выполнением: технических условий на присоединение электроустановок потребителей –к энергосистеме схем размещения приборов контроля качества электроэнергии;

схем размещения приборов учета;

нормативов по компенсации реактивной мощности и оптимальных режимов работы компенсирующих устройств;

правил и норм по надежной и экономичной эксплуатации электроустановок потребителей.

Оперативно-диспетчерские взаимоотношения определяются необходимостью обеспечения.

Электроснабжения потребителей в соответствии с выбранным уровнем надежности схемы их внешнего электроснабжения;

нормальных условий эксплуатации и ремонта оборудования, сетей и приборов энергосистемы и потребителей;

установленных стандартом норм качества электроэнергии;

разгрузки энергосистемы для сохранения устойчивости ее режима при возникновении временных аварийных дефицитов мощности.

Единство электрической схемы энергосистемы и потребителей обуславливает необходимость строгой регламентации взаимоотношений между оперативно-диспетчерским персоналом.

Координация взаимоотношений между энергосистемой и потребителем возложена на Энергосбыт.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте определение электроэнергетической системы.
2. Что такое приёмник и потребитель электроэнергии, электроустановка, подстанция, распределительное устройство, распределительный пункт, щит управления, независимый источник питания ?
3. На какие уровни теоретически и практически делятся системы электроснабжения? Дайте характеристику каждому уровню.
4. Перечислите основные показатели электроприёмников
5. На какие категории по надёжности электроснабжения делятся электроприёмники?
6. Какой перерыв в электроснабжении допускается для каждой категории?
7. Перечислите требования , рассматриваемые при проектировании систем электроснабжения.
8. Классификация электроустановок по напряжению
9. Электрические параметры систем электроснабжения
10. Каким образом осуществляется управление энергосистемой?
11. Какие вы знаете графики электрических нагрузок по времени, по мощности?
12. Перечислите преимущества объединения электроэнергетических систем.
13. Каким образом регламентируются взаимоотношения между энергосистемой и потребителем?
14. Что относится к юридически-правовым вопросам во взаимоотношениях между энергосистемой и потребителем?
15. Что относится к оперативно - диспетчерским вопросам во взаимоотношениях между энергосистемой и потребителем?
16. Что относится к технико-экономическим вопросам во взаимоотношениях между энергосистемой и потребителем?

Тема 2. Режимы нейтрали в системах электроснабжения

2.1. Режим работы нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ

Электротехнические установки напряжением выше 1 кВ согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) разделяются на установки с большими токами замыкания на землю (сила тока однофазного замыкания на землю превышает 500 А)

и установки с малыми токами замыкания на землю (сила тока однофазного замыкания на землю меньше или равна 500 А).

В установках с большими токами замыкания на землю нейтрали присоединены к заземляющим устройствам непосредственно или через малые сопротивления. Такие установки называются *установками с глухозаземленной нейтралью*.

В установках, имеющих малые токи замыкания на землю, нейтрали присоединены к заземляющим устройствам через элементы с большими сопротивлениями. Такие установки называются *установками с изолированной нейтралью*.

В установках с глухозаземленной нейтралью всякое замыкание на землю является коротким замыканием и сопровождается большим током.

В установках с изолированной нейтралью замыкание одной из фаз на землю не является коротким замыканием (КЗ). Прохождение тока через место замыкания обусловлено проводимостями (в основном, емкостными) фаз относительно земли.

Выбор режима нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ производится при учете следующих факторов: экономических, возможности перехода однофазного замыкания в междуфазное, влияние на отключающую способность выключателей, возможности повреждения оборудования током замыкания на землю, релейной защиты и др.

В электрических сетях РАО ЕЭС России приняты следующие режимы работы нейтрали:

электрические сети с номинальными напряжениями 6...35 кВ работают с малыми токами замыкания на землю;

при небольших емкостных токах замыкания на землю – с изолированными нейтральями;

при определенных превышениях значений емкостных токов – с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор.

Если в одной из фаз трехфазной системы, работающей с изолированной нейтралью, произошло замыкание на землю, то напряжение ее по отношению к земле станет равным нулю, а напряжение остальных фаз по отношению к земле станет равным линейному, т. е. увеличится в 3 раза. Ток замыкания на землю будет небольшим, поскольку вследствие изоляции нейтрали отсутствует замкнутый контур для его прохождения. Ток замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью будет небольшим и не вызовет аварийного отключения линии. Таким образом, изоляция нейтрали источника питания обеспечивает надежность электроснабжения, так как не отражается на работе потребителей.

Однако в сетях с большими емкостными токами на землю (особенно в кабельных сетях) в месте замыкания возникает перемежающаяся дуга, которая периодически гаснет и вновь зажигается, что наводит в контуре с активными, индуктивными и емкостными элементами э.д.с, превышающие номинальные напряжения в 2,5...3 раза. Такие напряжения в системе при однофазном замыкании на землю недопустимы. Чтобы предотвратить возникновение перемежающихся дуг между нейтралью и землей включают индуктивную катушку с регулируемым сопротивлением.

Повышение напряжения по отношению к земле в неповрежденных фазах при наличии слабых мест в изоляции этих фаз может вызвать междуфазное короткое замыкание. Кроме того, напряжение в неповрежденных фазах повышается в 3 раза, следовательно, требуется выполнять изоляцию всех фаз на линейное напряжение, что приводит к удорожанию машин и аппаратов. Поэтому, хотя и разрешается работа сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы на землю, его требуется немедленно обнаружить и устранить.

Электрические сети с номинальным напряжением 110 кВ и выше работают с большими токами замыкания на землю (с эффективно заземленными нейтральями).

2.2. Режим работы нейтрали в установках напряжением до 1 кВ

Электроустановки напряжением до 1 кВ работают как с глухозаземленной (четырёхпроводные сети), так и с изолированной (трехпроводные сети) нейтралью.

В наиболее распространенных четырехпроводных сетях напряжением до 380 В, общих для силовых и осветительных электроприемников, нейтраль и нейтральный провод обязательно заземляются. Это вызвано тем, что контроль изоляции нейтрального провода относительно земли практически неосуществим. Нейтральный провод, не имеющий заземления, с не устраненными скрытыми дефектами изоляции представляет собой пожарную опасность, так как при однофазном замыкании на землю образуется петля для протекания тока КЗ через нейтральный провод (рис. 2.1). При относительно малом сечении нейтрального провода этот ток может вызвать значительный его перегрев и возгорание.

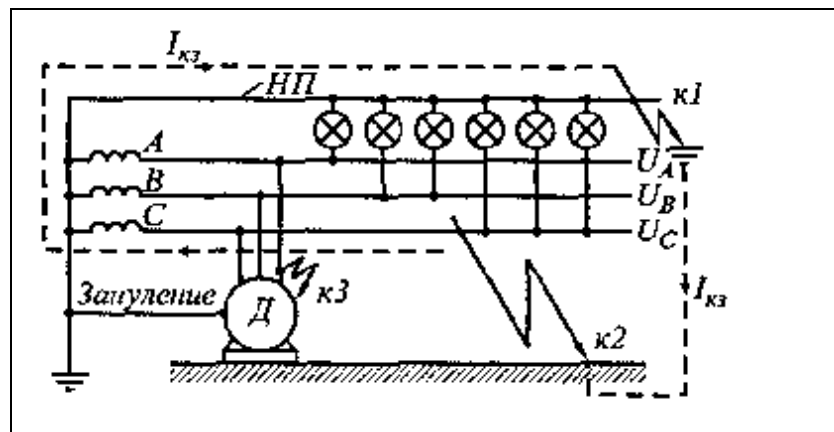


Рис. 2.1. Схема четырехпроводной сети напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью трансформатора и занулением оборудования.

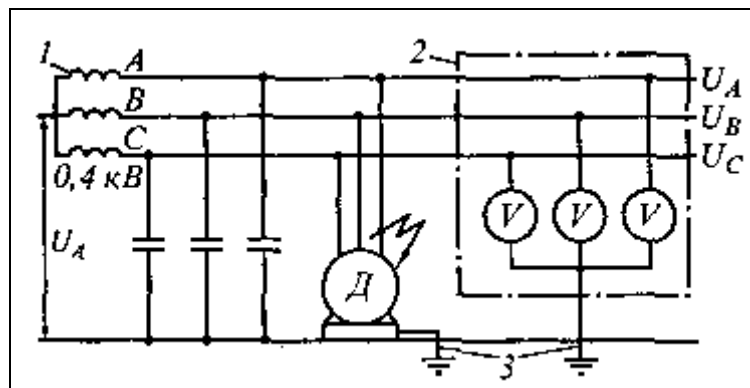


Рис. 2.2. Принципиальная схема трехпроводной сети напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью трансформатора:

1 – вторичная обмотка трансформатора; 2 – схема контроля изоляции; 3 – заземление

В четырехпроводных сетях необходимо также осуществить заземление всего оборудования на заземленную нейтраль. Безопасность при этом обеспечивается немедленным автоматическим отключением аварийного участка при протекании большого тока металлического КЗ.

В трехпроводных сетях (рис. 2.2) трехфазные двигатели, печи, сварочные аппараты и другие трехфазные электроприемники включаются только на линейное напряжение. Однофазные электроприемники соединяют по схеме треугольника, распределяя их равномерно по сторонам треугольника напряжений. Рассмотренные

выше преимущества и недостатки трехпроводных сетей напряжением 6...35 кВ с изолированной нейтралью распространяются и при напряжении до 1 кВ. Однако в сетях напряжением до 1 кВ перемежающиеся дуги при однофазном замыкании на землю не возникают и поэтому не требуется установка дугогасящих катушек. Однако емкостные токи при замыканиях на землю представляют опасность для персонала при соприкосновении с фазой. Безопасные значения токов могут быть только в малоразветвленных сетях с хорошим состоянием изоляции.

Таким образом, в установках напряжением до 1 кВ допустимы обе системы: при малоразветвленных сетях имеет преимущества система с изолированной нейтралью, при сильно разветвленных сетях целесообразно работать с заземленной нейтралью.

В электроустановках напряжением 660 В нейтраль, как правило, изолирована.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте определение «нейтрали»
2. Перечислите с какими режимами нейтрали работают электрические сети.
3. Какие электроустановки считаются установками с большими токами замыкания на землю?
4. Какие электроустановки считаются установками с малыми токами замыкания на землю?
5. С какой нейтралью работают установки напряжением до 1кВ?

Тема 3. Конструктивное выполнение электрических сетей

3.1. Общие сведения

Для электроснабжения потребителей и передачи электроэнергии от места выработки к месту потребления применяются электрические сети.

Классификация электрических сетей:

1. по конструктивному выполнению: воздушные, кабельные, внутренние проводки;
2. по роду тока: переменного и постоянного;
3. по номинальному напряжению : сети высокого (ВН) и сети низкого (НН) напряжения;
4. по характеру потребителей:
 - сети промышленных предприятий ,
 - городские,
 - сети сельской местности,
 - сети энергосистем.
5. по схеме соединений: разомкнутые , замкнутые, разомкнутые резервированные.

Материалами для токоведущих частей проводов и кабелей являются медь, алюминий, их сплавы и сталь.

Медь – один из лучших проводников электрического тока, и поэтому необходимые технико-экономические показатели (потери электроэнергии) можно получить при меньших сечениях медных проводов, чем при проводах из других материалов. Медные провода хорошо противостоят влиянию атмосферных условий

и большинству химических реагентов, находящихся в воздухе.

Алюминий – худший проводник, чем медь. Его проводимость примерно в 1,6 раза меньше проводимости меди, однако проводимость алюминия все же достаточно высока, чтобы его можно было использовать в качестве токопроводящего материала для проводов и кабелей. Действию атмосферных явлений алюминий противостоит так же хорошо, как и медь.

Стальные провода используются в тех случаях, когда требуется передать небольшую мощность и, следовательно, небольшое сечение, например, в сельских сетях. Стальные провода с большим сопротивлением на разрыв используются для устройства переходов воздушных линий через широкие реки, ущелья и т. п. при длине пролета более 1 км.

Активное и реактивное сопротивление стальных проводов значительно выше, чем проводов из цветного металла, и поэтому область применения этих проводов ограничена. Существенный недостаток стальных проводов – их высокая коррозия. Для повышения коррозионной стойкости стальные провода изготавливают из оцинкованной проволоки.

3.2. Воздушные линии

3.2.1. Общие сведения

Воздушной линией электропередачи (ВЛ или ВЛЭП) называют устройство для передачи электроэнергии по проводам.

Воздушные линии состоят из элементов: проводов, изоляторов и опор.

Расстояние между двумя соседними опорами называют *длиной пролета, или пролетом линии l* (рис. 3.1). Провода подвешиваются к опорам при помощи изоляторов и арматуры.

Провода к опорам подвешиваются свободно, и под влиянием собственной массы провод в пролете провисает по цепной линии. Расстояние от точки подвеса до низшей точки провода называют *стрелой провеса*. Наименьшее расстояние от низшей точки провода до земли называется *габаритом приближения провода к земле h* . Габарит должен обеспечивать безопасность движения людей и транспорта, он зависит от условий местности, напряжения линии и т.п. Для ненаселенной местности габарит $h = 5 \dots 7$ м, для населенной – $h = 6 \dots 8$ м.

Высота опоры при горизонтальном расположении проводов определяется габаритом h и максимальной стрелой провеса f . При креплении проводов на гирляндах изоляторов высота опоры увеличивается еще на длину гирлянды X .

Расстояние D между соседними проводами фаз ВЛ обеспечивает требуемый изоляционный промежуток и зависит в основном от ее номинального напряжения. Для линий напряжением 6... 10 кВ это расстояние в среднем составляет 1 м, 110 кВ – 4 м, 220 кВ – 7 м, 500 кВ – 12 м, 750 кВ – 15 м. На двухцепных опорах расстояния между проводами разных цепей берутся такими, при которых возможны ремонтные работы на одной из цепей без отключения второй.

Длину пролета линии l обычно определяют из экономических соображений. С увеличением длины пролета возрастает стрела провеса, а следовательно, и высота опор, что увеличивает их стоимость.

Вместе с тем с увеличением длины пролета уменьшается число опор и снижается стоимость изоляции линии. Для линий напряжением до 1 кВ длина пролета обычно составляет 30...75 м, для линий напряжением 110 кВ – 150...200 м при высоте опор с горизонтальным расположением проводов 13... 14 м, для линий напряжением 220...500 кВ длина пролета составляет 400...450 м при высоте опор 25...30 м.

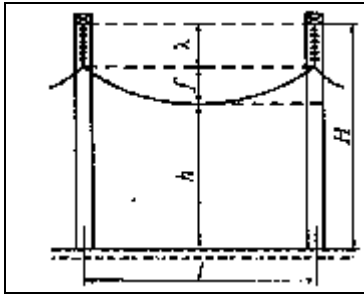


Рис. 3.1. Пролет линии на опорах с подвесными изоляторами

3.2.2. Провода воздушных линий

Провода воздушных линий чаще всего неизолированные (голые).

Разнообразные условия работы ЛЭП определяют необходимость иметь разные конструкции проводов.

Основными конструкциями являются: однопроволочные провода из одного металла; многопроволочные провода из одного металла; многопроволочные провода из двух металлов; пустотелые провода; биметаллические провода.

Многопроволочные провода из одного металла состоят из нескольких свитых между собой проволок. Провода имеют одну центральную проволоку, вокруг которой делаются следующие повивы (ряды) проволок. При одном повиве провод свит из 7 проволок, при двух повивах – из 19, при трех повивах – из 37 проволок. Скрутка смежных повивов производится в разных направлениях, что обеспечивает более круглую форму и позволяет получить более устойчивый против раскручивания провод.

Многопроволочные провода имеют по сравнению с однопроволочными ряд существенных преимуществ:

большую гибкость, что обеспечивает большую сохранность и удобство монтажа;

высокие сопротивления на разрыв могут быть получены только для проволок относительно небольшого диаметра. Однопроволочные провода с сечениями 25 мм^2 и более имели бы пониженные сопротивления на разрыв.

Однопроволочные провода изготавливаются для сечений 4, 6, 10 мм^2 , многопроволочные - от 10 мм^2 .

Проволоки из цветного металла под действием химических реагентов воздуха быстро покрываются тонким слоем окиси металла проводника и дальнейшему разрушению не поддаются. Электрический ток из-за плохой проводимости оксидной пленки «разбивается» на ряд параллельных токов, идущих по проволокам провода. Результатом этого явления и скрутки провода (длина проволок на 2...3% больше длины провода, измеренной по оси) является повышение активного сопротивления многопроволочного провода на 2...3%.

Желание повысить механическую прочность привело к изготовлению алюминиевых проводов со стальным сердечником, называемых *сталеалюминевыми*. Сердечник провода выполняется из одной или нескольких свитых стальных оцинкованных проволок.

Алюминиевые проволоки, покрывающие стальной сердечник одним, двумя или тремя повивами, являются токоведущей частью провода. Электропроводность стального сердечника мала и потому не учитывается.

Механическую нагрузку (тяжение по проводу) воспринимают сталь и алюминий.

При необходимости сочетать малое активное сопротивление провода с очень

большой механической прочностью применяют сталелитейные и сталелитейные провода. Алюминий представляет собой сплав алюминия с незначительной долей (около 1,2%) магния и кремния.

Пустотелые медные и биметаллические (стальная проволока покрыта приваренным слоем меди) применяются редко.

Обозначение марок проводов для ВЛ:

А – провод скрученный виток;

АС – провод из алюминиевых проволок и стального сердечника (сталеалюминиевый);

АСК – провод марки АС, у которого стальной сердечник покрыт смазкой повышенной термостойкости и изолированной плёнкой;

АН – провод, скрученный из проволок не термообработанного алюминиевого сплава;

АЖ – провод, скрученный из проволок термообработанного алюминиевого сплава;

АСКП – сталеалюминиевый провод марки АСК, у которого межпроводочное пространство заполнено смазкой;

АСКС – сталеалюминиевый провод марки АСК, у которого межпроводочное пространство заполнено смазкой;

В последние годы на ВЛ6-10-35 кВ получили распространение самонесущие изолированные провода (**СИП**). Последняя конструкция такого провода – СИП-3. Это одножильный самонесущий провод с защитным покрытием. Жила выполнена из алюминиевого сплава высокой прочности или из сталеалюминия.

Для обозначения провода рядом с маркой дается номинальное сечение провода, например, А-50 обозначает алюминиевый провод с сечением 50 мм².

Принята следующая шкала номинальных сечений неизолированных проводов: 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400, 500, 600, 700 мм².

На линиях напряжением 330кВ и выше применяют *расщепление* проводов – подвешивают одновременно по несколько проводов в фазе. Этим достигается выравнивание электрического поля около проводов и ослабление ионизации воздуха (явление «короны»). Помехи от короны: ложная работа автоматики, радиопомехи, увеличивается сопротивление проводника – возникновение коррозии. Расстояние между проводами расщеплённой фазы равно 40см. Для его фиксирования вдоль линии устанавливаются специальные распорки между фазами.

Факторы, влияющие на провода : температура (+ и -);

нагрузка (ветер, его давление - нагрузка горизонтальная, гололёд – нагрузка вертикальная, собственный вес.

Для защиты от вибрации на проводах подвешиваются специальные грузы – виброгасители. Вибрация проводов возникает при ветре скоростью от 0,5 до 5м/сек, направленном поперёк линии. Состоит это явление в том , что в проводах и тросах образуются продольные вертикальные волны амплитудой до 50мм и частотой 5-10 Гц. Следствием вибрации являются изломы проволок и зажимов, особенно на промежуточных опорах. Виброгаситель состоит из двух чугунных грузов, соединённых стальным тросом.

На воздушных линиях, проходящих по открытой местности, ветер порождает ещё мало изученное явление, а именно *пляску проводов, т.е. их колебание* с большой амплитудой , что подчас приводит к склёстыванию проводов различных фаз, а стало быть , к выходу линии из строя.

С целью плавки гололёда предусматривают возможность для временного повышения тока в линии.

Грозозащитные тросы подвешиваются над проводами ВЛ для защиты от атмосферных перенапряжений при напряжении $U \geq 35$ кВ. На линиях напряжением ниже 220кВ тросы подвешиваются только на подходах к подстанции. При этом снижается вероятность перекрытия проводов вблизи подстанции. На линиях напряжением 220кВ и выше тросы подвешиваются вдоль всей линии. Обычно

используются тросы из стальных проволок. При подвеске на изоляторах тросы могут быть использованы в качестве проводов связи. Лини напряжением 6-10кВ защищают перенапряжений стержневыми молниеотводами или только трубчатыми разрядниками и ограничителями перенапряжений.

3.2.3. Изоляторы воздушных линий

Применяются следующие типы изоляторов:

фарфоровые штыревые типа ШС-6, ШС-10 – для линий напряжением 6... 10 кВ;

фарфоровые штыревые типа Ш-20, ШД-35 – для линий напряжением 20...35 кВ;

подвесные фарфоровые или стеклянные изоляторы ПФ и ПС – для линий напряжением

35 кВ и выше.

Изоляторы типа ШД и ШС крепятся к опорам на крюках и штырях. При напряжении 110 кВ и выше применяются только подвесные изоляторы, которые собираются в гирлянды (рис. 3.2), состоят из фарфоровой части (или стекло), чугунной шапки, стального сердечника

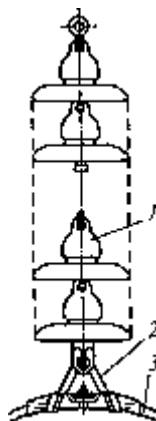


Рис. 3.2. Гирлянда подвесных изоляторов:

1 – изолятор; 2 – зажим для крепления провода; 3 – провод

Гирлянды подвесных изоляторов бывают поддерживающие и натяжные. Поддерживающие изоляторы располагаются вертикально на промежуточных опорах, натяжные гирлянды используются на анкерных опорах и находятся почти в горизонтальном положении. На ответственных участках ЛЭП применяют вдвоенные гирлянды.

Число изоляторов в гирлянде зависит от напряжения ЛЭП, эффективной и нормированной длины пути утечки и материала опоры (требуемого уровня изоляции). На деревянных и железобетонных опорах при напряжении 35 кВ берется два подвесных изолятора в гирлянде, при напряжении 110 кВ – шесть изоляторов, при напряжении 220 кВ – двенадцать изоляторов, при напряжении 500 кВ – двадцать девять изоляторов. На металлических опорах берется на один-два изолятора больше.

На воздушных линиях напряжением выше 220 кВ для защиты гирлянд от повреждений при возникновении дуги короткого замыкания применяются защитные рога и кольца.

3.2.4. Опоры воздушных линий

Опоры служат для крепления изоляторов и проводов.

Воздушные ЛЭП прокладываются на деревянных, металлических и железобетонных опорах. Деревянные изготавливаются из лиственницы, срок службы около десяти лет. Сальные опоры можно делать любой конструкции, большое зло этих опор – коррозионность, поэтому в последнее время металлические опоры выполняют из оцинкованных уголков.

По назначению опоры бывают промежуточными, анкерными, угловыми и концевыми.

Опоры могут быть одноцепными и двухцепными, с тросом и без троса.

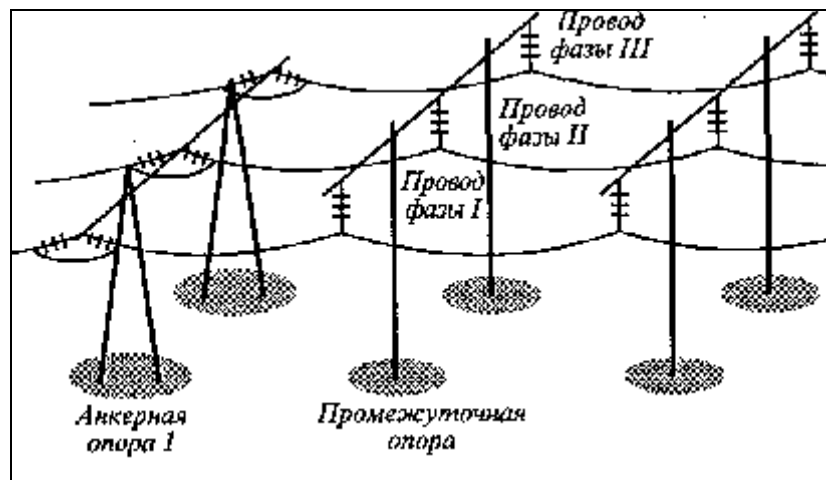


Рис. 3.3. Схема воздушной линии

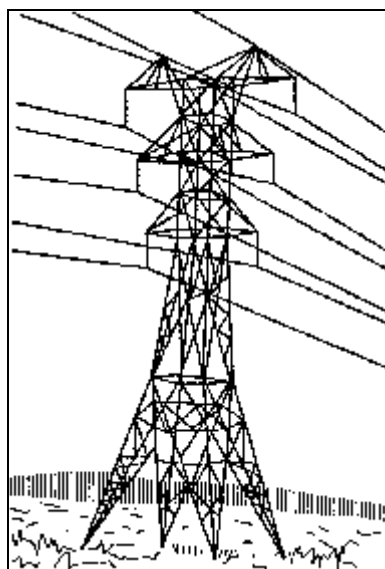


Рис. 3.4. Промежуточная металлическая опора для двухцепной линии напряжением 110 кВ

Наиболее распространенными на линиях являются промежуточные опоры. В равнинных местностях число этих опор составляет 80...90% от общего числа опор (рис. 3.3) при нормальных режимах работы, когда все провода целы, на

промежуточные опоры усилий, действующих вдоль линии, нет. Опора (рис. 3.4) воспринимает вертикальные силы – массу проводов, изоляторов, льда и самой опоры, и горизонтальные силы – давление ветра на провода и опору.

При обрыве провода промежуточная опора должна принять продольную силу неуравновешенного тяжения по проводу, оборвавшемуся по одному из пролетов.

Анкерные опоры устанавливаются через определенное число пролетов (через каждые 3...5 км линии), имеют жесткое закрепление проводов и рассчитываются на обрыв всех проводов.

Провода линий с подвесными изоляторами крепятся на анкерных опорах натяжными гирляндами, провода одной и той же фазы смежных с опорой пролетов соединены петлями проводов.

При подходах к подстанциям устанавливаются концевые опоры, назначение которых принять тяжения, действующие по проводам линии. Концевые опоры являются ближайшими к подстанциям. Концевые опоры выполняются жесткими, провода на них крепятся, как и на анкерных опорах, натяжными гирляндами изоляторов. В точках поворота линии устанавливаются угловые опоры.

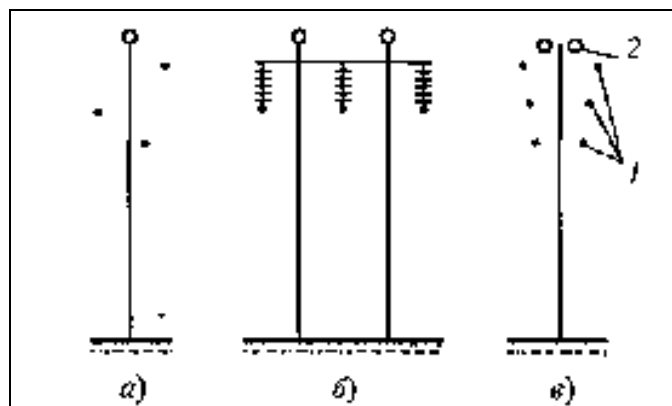


Рис. 3.5. Расположения проводов и тросов на опорах:
а – по вершинам треугольника; б – горизонтальные;
в – обратной елкой; / — тросы; 2 — провода.

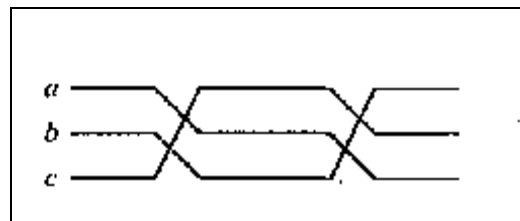


Рис. 3.6. Схема транспозиции проводов: а, б, с-фазы трехфазной сети

На рис. 3.5 схематически изображены наиболее часто встречающиеся расположения проводов и тросов на опорах. Расположение проводов по вершинам треугольника широко распространено на линиях напряжением до 35 кВ и на одноцепных линиях напряжением 110 кВ на металлических и железобетонных опорах. Горизонтальное расположение проводов применяют на линиях напряжением 110 кВ и выше с металлическими и железобетонными опорами. Для двухцепных опор более удобно с точки зрения эксплуатации расположение проводов по типу «обратная елка».

Различие во взаимном расположении проводов приводит к различию параметров (индуктивных сопротивлений) фаз. Для уравнивания этих параметров на линиях длиной более 100 км применяют транспозицию проводов: линия делится на

три участка а.в.с (три шага), на которых каждый из трех проводов занимает все три возможных положения (рис. 3.6). В точках линии, где провода линии меняются местами, устанавливаются транспозиционные опоры.

При пересечениях больших рек, ущелий и т. п. при больших пролетах устанавливаются

переходные опоры высотой 50... 100 м и более

3.3. Кабельные линии

3.3.1. Конструкции кабелей

Кабельные линии переменного тока обходятся значительно дороже воздушных линий того же напряжения, они более трудоёмки в сооружении, требуют большого срока для ремонта и более квалифицированного персонала. К тому же передача одной и той же мощности по кабельным линиям требует большей затраты цветных металлов, чем по воздушным. Всё это объясняет, почему *кабельные линии прокладывают, как правило лишь там, где строительство воздушных линий невозможно или нежелательно*, например в городах и населённых пунктах (из-за отсутствия трассы для воздушных линий и по архитектурным соображениям), на территории промышленных предприятий, через большие водоёмы, а также в местах, требующих маскировки.

К преимуществам кабельных линий относятся:

а) неподверженность атмосферным воздействиям, например ветру, гололёду, грозovým поражениям и т.п.;

б) скрытность трассы и недоступность кабеля для посторонних лиц;

Главными элементами любой кабельной линии являются:

а) кабель, служащий для передачи электрической энергии;

б) соединительные муфты, при помощи которых отдельные строительные длины кабелей, изготовленные на заводе, соединяются в одну линию, если строительная длина одного куска кабеля не соответствует длине линии;

в) концевые муфты (заделки);

г) стопорные муфты, монтируемые на крутых участках трассы линии, для предупреждения стекания кабельной массы;

д) подпитывающие аппараты и система сигнализации давления масла для линий, выполненных маслonaполненными кабелями;

е) кабельные сооружения (кабельные коллекторы, туннели, каналы, шахты, колодцы, подпиточные пункты), специально применяемые на отдельных участках кабельных линий, когда прокладка в естественном грунте исключается.

За начало и конец кабельной линии принимают кабельные наконечники концевых муфт (заделок).

Кабелем называют многопроволочный провод или несколько скрученных вместе изолированных проводов при помещении в общую герметическую оболочку. Кабели различают силовые и контрольные. Силовые кабели предназначены для прокладки в земле, под водой, на открытом воздухе и внутри помещений.

Основными частями силового кабеля любого напряжения являются :

1. токопроводящие жилы (медные или алюминиевые);

2. изоляция фазная (кабельная бумага, пропитанная маслoканифольным составом, резины, поливинилхлорида и полиэтилена);

3. общая защитная герметичная оболочка, которая служит для предохранения токопроводящих жил и изоляции кабеля от воздействия влаги, кислот и химически активных газов (алюминий, свинец, поливинилхлорид, негорючая резина, пластмасс ит.д.);

4. броня стальная, для защиты оболочки от механических повреждений.

По числу жил кабеля бывают одно-, двух-, трёх- и четырёхжильными.

Силовые кабели на напряжение до 35 кВ имеют от одной до четырех медных или алюминиевых жил. Жилы сечением до 16 мм² - однопроволочные, свыше - многопроволочные. По форме сечения жилы одножильных кабелей круглые, а многожильных - сегментные или секторные (рис. 3.7).

Преимущественно применяются кабели с алюминиевыми жилами. Кабели с медными жилами применяются редко: для перемещающихся механизмов, во взрывоопасных помещениях.

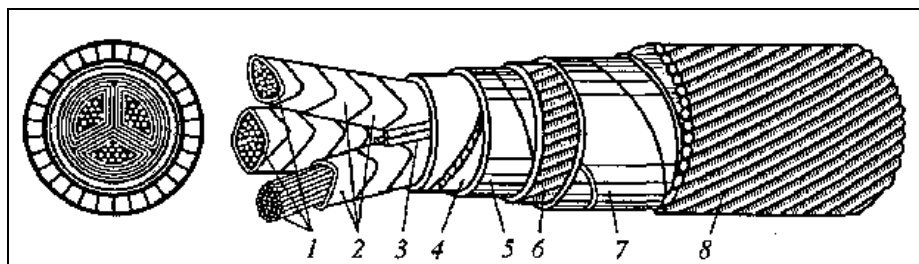


Рис. 3.7. Кабель с вязкой пропиткой на напряжение 10 кВ типа СБ или АСБ:
1 - медные или алюминиевые жилы; 2 - фазная изоляция из пропитанной бумаги;
3 -заполнитель из джута; 4 - поясная изоляция из пропитанной маслом бумаги;
5 - свинцовая оболочка; 6 - джутовая прослойка;
7 - броня из стальной ленты; 8 – джутовый по- кров.

В кабелях напряжением выше 1 кВ между изолированными жилами и оболочкой прокладывается слой поясной изоляции. Поясная изоляция имеет ту же структуру, что и фазная изоляция жил кабеля. Назначение поясной изоляции – обеспечить, что бы кабель, проложенный в сети с незаземлённой нейтралью, имел примерно одинаковую прочность как между фазами, так и между любой фазой и землёй. Это очень важно, ибо в случае замыкания на землю одной из фаз кабеля две другие фазы получают по отношению к земле линейное напряжение.

Броня кабеля выполняется из стальных лент или стальных оцинкованных проволок. Поверх брони накладывают покровы из кабельной пряжи (джута), пропитанной битумом и покрытой меловым составом. При прокладке кабеля в помещениях, каналах и тоннелях джутовый покров во избежание возможного пожара снимают.

Кабели на напряжение 110 кВ и выше обычно выполняют газонаполненными или маслонаполненными, одножильными с покрытием стальной броней или асфальтированными, для прокладки в земле или на воздухе. Масло в кабелях находится под давлением.

Отдельные отрезки кабелей напряжением до 1 кВ соединяются чугунными муфтами, напряжением выше 1 кВ - свинцовыми муфтами, залитыми специальным составом.

Концы кабелей разделяются, а для лучшего контакта с шинами распределительного устройства на концы жил напаиваются или привариваются наконечники. Для предотвращения попадания в кабель влаги, кислот и других реагентов, ухудшающих изоляцию, концы кабеля герметически заделывают. Часто применяются концевые заделки кабелей из эпоксидного компаунда (рис. 3.8). Также применяют сухие концевые заделки из поливинилхлоридных липких лент и лаков.

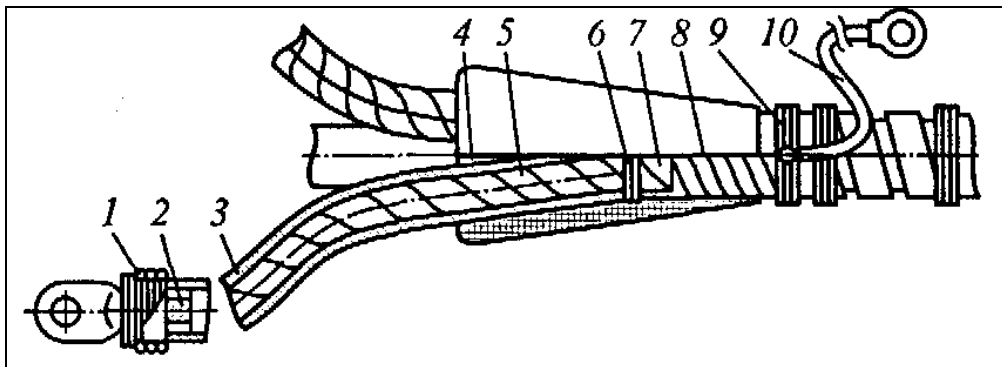


Рис. 3.8. Концевая эпоксидная заделка кабеля:

1 - бандаж из шпагата, покрытого эпоксидным компаундом; 2 - дополнительная подмотка из киперной ленты с покрытием каждого слоя эпоксидным компаундом; 3 - трехслойная дополнительная подмотка из киперной ленты с покрытием каждого слоя эпоксидным компаундом; 4 - эпоксидный компаунд; 5 - конец подмотки корешка заделки; 6 - бандаж из хлопчатобумажной пряжи; 7 - поясная изоляция; 8 - насечка ножом на оболочке кабеля; 9 - проволоочный бандаж; 10 - заземляющий трос.

В зависимости от материала жил и оболочки, способа изоляции, наличия брони и других характерных признаков кабеля получают ту или иную буквенную маркировку.

Кабели с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами имеют марки: ААБ, ААГ, ААП, ААШв, АСБ, АСБГ, АСПГ, АСШв.

Первая буква обозначает материал жил (А - алюминий, отсутствие впереди буквы А в маркировке означает наличие медной жилы).

Вторая – фазная изоляция (Р- резина, В- поливинилхлорид, П- полиэтилен, отсутствие этих букв означает наличие нормально пропитанной бумажной изоляции) ;

Материал оболочки (А - алюминий, С – свинец, В- поливинилхлорид, Н – негорючая резина).

Буква Б означает, что кабель бронирован стальными лентами.

Буква Г - отсутствие наружного покрова;

Шв - наружный покров выполнен в виде шланга из поливинилхлорида, под которым находится слой битума.

Броня обозначается при выполнении: стальными лентами - Б, плоской оцинкованной стальной проволокой - П, круглой оцинкованной стальной проволокой - К.

О – отдельноосвинцованная жила.

Маркировка контрольных кабелей начинается с буквы К.

Кроме этого :

Маслонаполненные кабели

Прокладываемые в трубопроводе.....	Т
Шланг из поливинилхлоридного пластика.....	Шв
То же с усиленным защитным слоем.....	Шву
Покров асфальтированный.....	А
То же бронированный круглыми проволоками.....	К
Оболочка свинцовая.....	С
То же алюминиевая, алюминиевая гофрированная...	А, Аг
Давление масла низкое.....	Н
Давление масла высокое.....	ВД
Маслонаполненный (с медной жилой).....	М

С бумажной изоляцией и вязкой пропиткой

Усовершенствованный.....	У
Без наружного покрова.....	Г
Тип покровов.....	Б, Бл, Б2л, Бн, Пн, К, Шв,

Шпс

Оболочка свинцовая.....	С
То же алюминиевая.....	А
Изолированные жилы совместно.....	-
То же отдельно.....	О
Жила медная.....	-
Изоляция обыкновенная.....	-
То же пропитанная нестекающим составом.....	Ц

С пластмассовой изоляцией

Шланг из поливинилхлоридного пластиката.....	Шв
Без наружного покрова.....	Г
Бронированный.....	Бб
Оболочка из полиэтилена, самозатухающего и вулканизированного полиэтилена, поливинилхлоридного пластиката, алюминия.....	П, Пс, Пв, В, А
Жила медная.....	-
То же алюминиевая.....	А

В маркировке кабеля после буквенных обозначений указывается его номинальное напряжение, кВ; число жил и сечение одной жилы. Например, кабель АВПБГ - 1кВ(3х50+1х25)-кабель с тремя алюминиевыми жилами по 50 мм² и четвертой - сечением 25 мм², полиэтиленовой изоляцией на напряжение 1 кВ, оболочкой из полихлорвинила, бронированный стальными лентами без наружного противокоррозионного покрытия.

В последние годы в сетях энергосистем получили широкое применение кабели из сшитого полиэтилена (российское обозначение СПЭ, английское –XLPE).

Основные достоинства кабелей со СПЭ-изоляцией:

изготавливаются на напряжение до 500 кВ;

срок службы кабелей составляет не менее 30 лет;

пропускная способность в зависимости от условий прокладки на 15-30% выше, чем у кабелей с бумажной или маслonaполненной изоляцией, т.к. кабели со СПЭ-изоляцией рассчитаны на длительную работу при температуре жилы 90⁰С, а их бумажно-масляные аналоги допускают нагрев до 70⁰С;

отвечают экологическим требованиям;

прокладка и монтаж меньше зависят от погоды и могут проводиться даже при температуре -20⁰С;

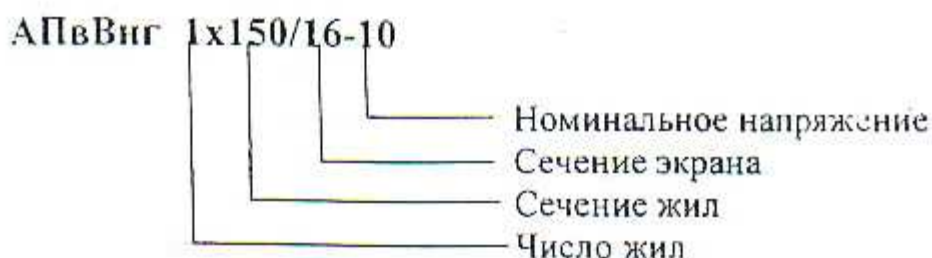
значительно дешевле и проще становятся обслуживание и ремонт при механических повреждениях, существенно легче выполняется прокладка и монтаж соединительных муфт и концевых заделок в полевых условиях.

Условные обозначения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Материал жилы	Без обозначения	Медная жила напр. ПвП 1'95/16-10
	А	Алюминиевая жила напр. АПвП 1'95/16-10
Материал изоляции	Пв	Изоляция из сшитого (вулканизированного) полиэтилена напр. ПвВ 1'95/16-10
Броня	Б	Броня из стальных лент напр. ПвБП 3'95/16-10
	Ка	Броня из круглых алюминиевых проволок напр. ПвКаП 1'95/16-10
	Па	Броня из профилированных алюминиевых проводов напр. АПвПаП 1'95/16-10
Оболочка	П	Оболочка из полиэтилена напр. АПвП 3'150/25-10
	Пу	Усиленная ребрами жесткости оболочка из полдиэтилена напр. АПвПу 3'150/25-10
	В	Оболочка из ПВХ пластиката напр. АПвВ 3'150/25-10
	Внг	Оболочка из ПВХ пластиката пониженной горючести напр. АПвВнг
	г (после обозначения оболочки)	Продольная герметизация экрана водонабухающими лентами напр. АПвПг 1'150/25-10
	2г (после обозначения оболочки)	Поперечная герметизация алюминиевой лентой, сваренной с оболочкой, в сочетании с продольной герметизацией

		водонабухающими лентами напр. АПвП2г 1'300/35-64/110
Тип жилы	Без обозначения	Круглая многопроволочная жила (класс 2)
	(ож)	Круглая однопроволочная жила (класс 1) напр. АПвВ 1'50(ож)16-10

Пример обозначения кабелей со СПЭ-изоляцией



3.3.2. Способы прокладки кабелей напряжением 6... 10 кВ

Кабельные прокладки требуют меньших площадей по сравнению с воздушными и могут применяться при любых природных и атмосферных условиях. Кабельные прокладки напряжением 6... 10 кВ применяются на предприятиях небольшой и средней мощности и в городских сетях.

Трасса кабельных линий выбирается кратчайшая с учетом наиболее дешевого обеспечения их защиты от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и от повреждений при возникновении электрической дуги в соседнем кабеле.

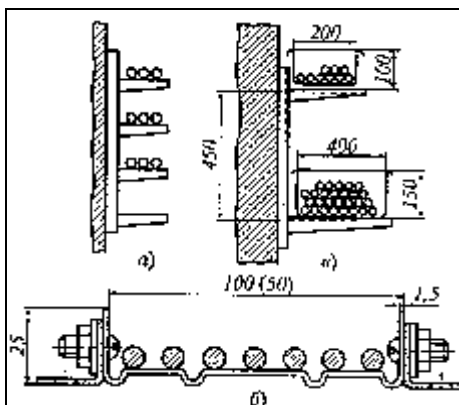


Рис. 3.9. Конструктивное выполнение кабельных прокладок:
а - на настенных конструкциях; б - на перфорированных лотках; в - в коробах.

Прокладка кабелем может осуществляться несколькими способами: в

траншеях, каналах, туннелях, блоках, эстакадах. Внутри кабельных сооружений и производственных помещений предусматривают прокладку кабелей на стальных конструкциях различного исполнения (рис. 3.9): на настенных конструкциях, лотках, в коробах, укрепленных на стенах. Способ и конструктивное выполнение прокладки выбираются в зависимости от числа кабелей, условий трассы, наличия или отсутствия взрывоопасных газов тяжелее воздуха, степени загрязненности почвы, требований эксплуатации, экономических факторов и т.п. (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Области применения силовых кабелей с бумажной, пластмассовой и резиновой изоляцией при отсутствии механических воздействий и растягивающих усилий при эксплуатации

Место прокладки	Условия среды		Кабели с бумажной изоляцией	Кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией
	Коррозионная активность	Блуждающие токи		
В земле (траншеях):	Низкая	Нет	ААШв, ААШп, ААБл, АСБ	АВВГ, АПсВГ, АПвВГ, АПВГ, АВВБ, АПВБ, АПсВБ, АППБ, АПвПБ, АПсПБ, АПБбШв, АПвБбШв, АВБбШв, АВБбШп, АПсБбШв, АПАШв, АПАШп, АВАШв, АПсАШв, АВРБ, АНРБ, АВАБл, АПАБл
		Есть	ААШв, ААШп, ААБ2л, АСБ	
	Средняя	Нет	ААШв, ААБл, ААШп, ААБ2л, АСБ, АСБл	
		Есть	ААШв, ААБв, ААШп, ААБ2л, АСБ2л, АСБл	

	Высокая	Нет	ААБ2лШв, АСБл, ААБ2лШп, ААБв, АСБ2л	
		Есть	ААШп, ААБв, АСБ2л, АСБ2лШв	
В помещениях (туннелях, каналах и др.): сухих сырых пожароопасных	Нет	Нет	ААГ, ААШв	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПВВГ, АПВГ, АПвсВГ, АПсВГ
	Слабая	»	ААШв	
	Средняя и высокая	»	ААШв, АСШв	
	Нет	»	ААГ, ААШв	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АПвсВГ, АНРГ, АСРГ
Во взрывоопасных зонах	»	»	СБГ, СБШв	ВВГ, ВРГ, НРГ, СРГ

Примечание. П - полиэтиленовая; Пс - из самозатухающего полиэтилена; Пв - из вулканизуемого полиэтилена; Пвс - из вулканизуемого самозатухающего полиэтилена; Н - из найритовой (негорючей) резины; Ш - шланг; л, 2л - усиленная и особо усиленная подушка под оболочкой.

Прокладка кабелей в траншеях.

Наиболее простой является прокладка кабелей в траншеях (рис. 3.10).

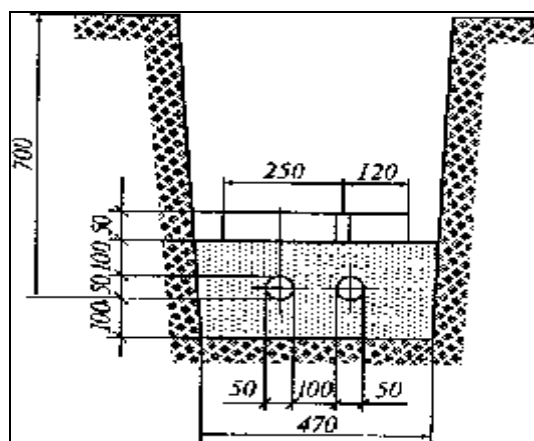


Рис. 3.10. Прокладка кабелей в траншее.

Она экономична и по расходу цветного металла, так как допустимые токи на кабели больше (примерно в 1,3 раза) при прокладке в земле, чем в воздухе. Однако по ряду причин этот способ не получил широкого применения на промышленных предприятиях. Прокладка в траншеях не применяется:

на участках с большим числом кабелей;
 при большой насыщенности территории подземными и наземными технологическими и транспортными коммуникациями и другими сооружениями;
 на участках, где возможно разлитие горячего металла или жидкостей, разрушающе действующих на оболочку кабелей;
 в местах, где возможны блуждающие токи опасных значений, большие механические нагрузки, размытие почвы и т. п.

Опыт эксплуатации кабелей, проложенных в земляных траншеях, показал, что при всяких разрытиях кабели часто повреждаются. При прокладке в одной траншее шести кабелей и более вводится очень большой снижающий коэффициент на допустимую токовую нагрузку. Поэтому не следует прокладывать в одной траншее более шести кабелей.

При большом числе кабелей предусматриваются две рядом расположенные траншеи с расстоянием между ними 1,2 м.

Земляная траншея для укладки кабелей должна иметь глубину не менее 800 мм. На дне траншеи создают мягкую подушку толщиной 100 мм из просеянной земли. Глубина заложения кабеля должна быть не менее 700 мм. Ширина траншеи зависит от числа кабелей, прокладываемых в ней.

Расстояние между несколькими кабелями напряжением до 10 кВ должно быть не менее 100 мм. Кабели укладывают на дне траншеи в один ряд. Сверху кабели засыпают слоем мягкого грунта. Для защиты кабельной линии напряжением выше 1 кВ от механических повреждений ее по всей длине поверх верхней подсыпки покрывают бетонными плитами или кирпичом, а линии напряжением до 1 кВ - только в местах вероятных разрытий.

Трассы кабельных линий прокладываются по непроезжей части на расстоянии не менее: 600 мм от фундаментов зданий, 500 мм до трубопроводов, 2000 мм до теплопроводов.

Прокладка кабелей в каналах. Прокладка кабелей в железобетонных каналах может быть наружной и внутренней (рис. 3.11).

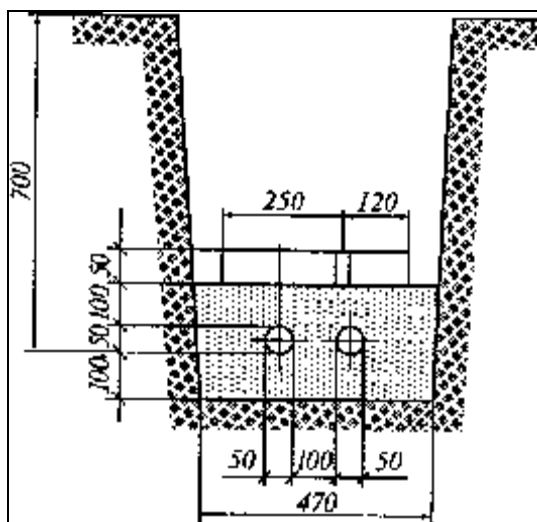


Рис. 3.11. Прокладка кабелей в канале

Этот способ прокладки более дорогостоящий, чем в траншеях. При внецеховой канализации на неохраняемой территории каналы прокладываются под землей на глубине 300 мм и более. Глубина канала не более 900 мм. На участках, где воз-

разлитие расплавленного металла, жидкостей или других веществ, разрушительно действующих на оболочки кабелей, кабельные каналы применять нельзя.

Прокладка кабелей в туннелях. Прокладка в туннелях удобна и надежна в эксплуатации, но она оправдана лишь при большом числе (более 30...40) кабелей, идущих в одном направлении, например, на главных магистралях, для связей между главной подстанцией и распределительной и других аналогичных случаях.

Туннели (рис. 3.12) бывают проходные высотой 2100 мм и полупроходные высотой 1500 мм. Полупроходные туннели допускаются на коротких участках (до 10 м) в местах, затрудняющих прохождение туннелей нормальной высоты. Глубина заложения туннеля от верха покрытия принимается не менее 0,7 м.

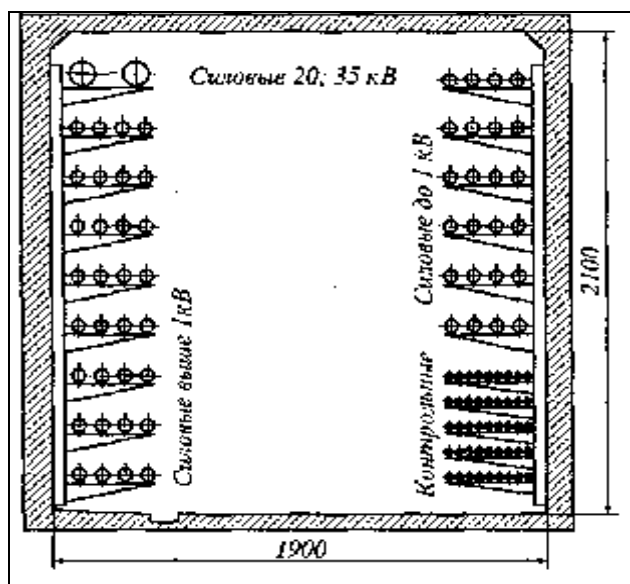


Рис. 3.12. Прокладка кабелей в туннеле.

Прокладка кабелей в блоках. Прокладка кабелей в блоках (рис. 3.13) надежна, но наименее экономична как по стоимости, так и по пропускной способности кабелей. Она применяется только тогда, когда по местным условиям прокладки недопустимы более простые способы прокладки, а именно: при наличии блуждающих токов, при агрессивных грунтах, вероятности разлива по трассе металла или агрессивных жидкостей и др.

Блочную канализацию кабелей следует переводить в траншею или канал во всех случаях, когда это возможно по условиям трассы. Тип кабельных блоков выбирается в зависимости от уровня грунтовых вод, их агрессивности и наличия блуждающих токов.

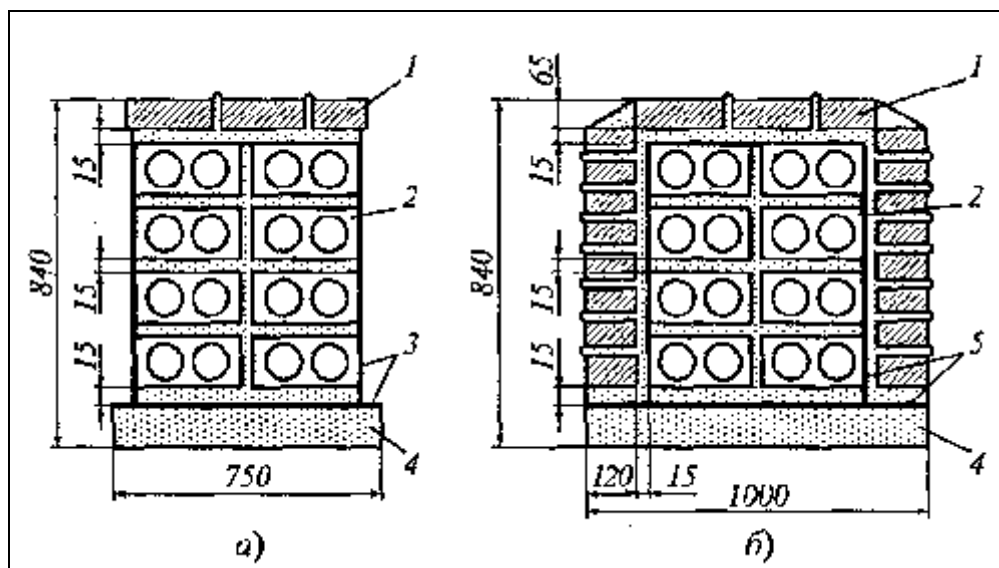


Рис. 3.13. Блоки из железобетонных панелей:
а - для прокладки в сухих грунтах;
б - для прокладки во влажных и насыщенных водой грунтах;
 1 - кирпич; 2 - железобетонная панель; 3 - окрасочная гидроизоляция;
 4 - бетон; 5 - оклеенная гидроизоляция.

Прокладка кабелей на галереях и эстакадах. При больших потоках кабелей целесообразно вместо туннелей применять для прокладки кабелей открытые эстакады (рис. 3.14) и закрытые галереи (рис. 3.15), а также использовать стены зданий, в которых нет взрывов и пожароопасных производств.

Прокладка кабелей на эстакадах и в галереях целесообразна на химических, нефтехимических, металлургических и других заводах, территории которых насыщены различными подземными коммуникациями; на предприятиях с большой агрессивностью почвы; в местах, где возможно значительное скопление при подземных способах прокладки (каналы и туннели) взрывоопасных газов тяжелее воздуха.

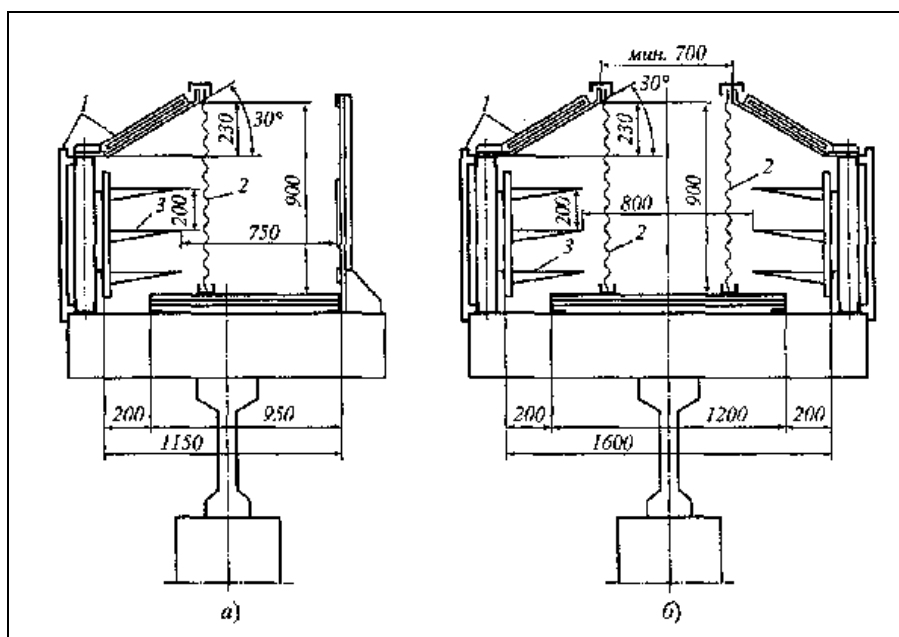


Рис. 3.14. Кабельные эстакады:
а - проходная односторонняя на отдельной опоре; *б* - двусторонняя; 1 - стационарные солнцезащитные панели; 2 - съемная солнцезащитная панель; 3 - кабельная полка

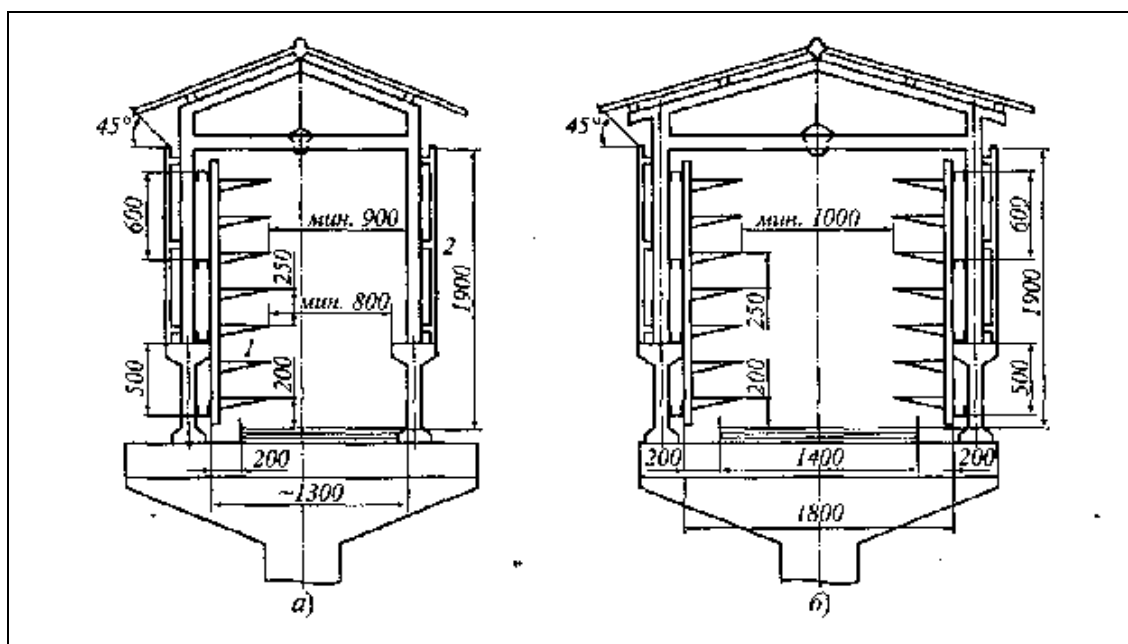


Рис. 3.15. Кабельные галереи: *а* - односторонняя; *б* - двусторонняя; 1 - кабельная полка; 2 - солнцезащитные панели.

3.4. Конструктивное выполнение цеховых сетей напряжением до 1 кВ

3.4.1. Общие сведения

Цеховые электрические сети напряжением до 1 кВ выполняют: кабелями и изолированными проводами, прокладываемыми непосредственно на строительных элементах и элементах технологического оборудования, в коробах, на лотках и в трубах, а также тросовыми проводами;

комплектными шинопроводами - магистральными, распределительными и осветительными, устанавливаемыми на опорных конструкциях на полу, стенах, колоннах, фермах и т. п.;

комплектными троллеями, укрепляемыми на троллейных кронштейнах, и комплектными троллейными шинопроводами, укрепляемыми на специальных конструкциях.

Электропроводка должна соответствовать условиям окружающей среды, назначению и ценности сооружений, их конструкции и архитектурным особенностям. При выборе вида электропроводки и способа прокладки должны учитываться требования электробезопасности и пожарной безопасности. Оболочки и изоляция проводов должны соответствовать способу прокладки и условиям окружающей среды.

Воздушные линии напряжением до 1 кВ на промышленных предприятиях используются главным образом в качестве сетей наружного освещения и для питания отдельных маломощных потребителей.

3.4.2. Электропроводки

Электропроводки являются распространенным видом сетей внутри зданий и сооружений. Этот вид сетей широко применяется для питания осветительных устройств, для цепей вторичной коммутации, защиты и управления, для питания

установок небольшой мощности.

Электропроводами принято называть сети постоянного и переменного тока напряжением до 1 кВ, выполняемые изолированными проводами, а также небронированными кабелями мелких (до 16 мм²) сечений с резиновой и пластмассовой изоляцией. Они могут прокладываться внутри зданий и сооружений, а также по наружным их стенам, по территории возле зданий.

Установочные провода напряжением до 1 кВ имеют в своей маркировке (табл. 3.3) букву П, стоящую на первом месте для проводов с медными жилами и на втором - для проводов с алюминиевыми жилами (А). Например, марка ПР означает: провод с медными жилами в оплетке из хлопчатобумажной ткани; АПР - то же, но с алюминиевыми жилами. АПВ - провод с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией; ПРГН - провод с медными жилами с резиновой изоляцией, гибкий, в негорючей оболочке.

В соответствии с рекомендациями по экономии меди следует применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Провода с медными жилами разрешается применять для вторичных цепей, для силовых и осветительных установок во взрывоопасных помещениях, а также для силовых цепей всех кранов при сечении жилы до 6 мм².

Все электропроводки внутри зданий разделяются на открытые и скрытые.

Таблица 3.3 Буквенные обозначения в маркировке проводов

Назначение в конструкции	Вид материала	Буква
Изоляция	Резина	Р
	Пластмасса (поливинилхлорид)	В
	Пластмасса (самозатухающий полиэтилен)	П
	Найрит (негорючая резина)	Н
Оболочка	Резина	Р
	Пластмасса (поливинилхлорид)	В
	Пластмасса (самозатухающий полиэтилен)	П
	Найрит (негорючая резина)	Н
	Хлопчатобумажная пряжа	Т
	Стальные оцинкованные проволоки	П
	Лавсановый шелк	Л
Гибкие		Г
Плоские		П

Открытая электропроводка, т.е. проложенная по поверхностям стен и потолков, по конструкциям сооружений и т.п., имеет много конструктивных исполнений. В зависимости от условий окружающей среды, требований технической эстетики, марки и сечений применяемых проводников и т.п. способы выполнения электропроводки могут в значительной мере отличаться друг от друга. Из большого числа различных способов открытой электропроводки для промышленных предприятий основными являются прокладка в специальных лотках, коробах и различных трубах, а также на тросах. Значительно реже применяется открытая электропроводка внутри помещений на роликах и изоляторах.

Скрытая электропроводка, т.е. проложенная в конструктивных элементах зданий, стенах и потолках, полах и перекрытиях, фундаментах оборудования и т.п., выполняется в различных трубах, специальных каналах, образованных в толще бетона.

Ко всем видам исполнения электропроводок предъявляются определенные

требования, обеспечивающие надежную эксплуатацию и безопасность.

Для обеспечения надежной работы электроустановок необходимо выполнять прокладку проводников таким образом, чтобы повреждение в цепях одного агрегата не вызвало остановки других, работающих независимо. Поэтому в одной трубе или коробе, одном замкнутом канале строительной конструкции или одном лотке запрещается прокладывать цепи разных технологических агрегатов, не связанных единым технологическим процессом. Из этих же соображений запрещается совместная прокладка взаиморезервирующих цепей, цепей аварийного и рабочего освещения.

Большое значение для обеспечения надежной работы электроустановок имеет устойчивость работы электропроводок в отношении нераспространения огня при повреждениях. Для открытых электропроводок без стальных труб желательно применять провода и кабели только с такими внешними оболочками, которые не поддерживают горение после удаления источника воспламенения. В этом случае, если в электропроводке возникло повреждение, и она загорелась, после действия защиты и отключения поврежденного участка пожар проводки не будет распространяться, и размеры аварии будут ограничены. К числу не распространяющих горение относятся оболочки и изоляция из полихлорвинила и найрита.

Важным общим требованием к конструкции электропроводок является обеспечение возможности смены проводов в условиях эксплуатации. Срок службы изоляции проводов и кабелей ограничен. Под воздействием тепла и света, кислорода воздуха и влаги, а также различных газов, попадающих в атмосферу, изоляция и оболочки проводов и кабелей теряют со временем свои механические и электрические свойства. Замена проводов и кабелей в сети не должна быть связана с необходимостью разрушения строительных элементов зданий и сооружений.

В зависимости от условий окружающей среды и качества изоляционных материалов провода приходится менять приблизительно каждые 10... 15 лет эксплуатации. В отдельных неблагоприятных условиях такие замены приходится производить значительно чаще.

Наружная электропроводка прокладывается по наружным стенам зданий и сооружений, под навесами, а также между зданиями. К наружной электропроводке относится также прокладка изолированных проводов и кабелей мелких сечений на опорах, между отдельными зданиями. Она выполняется обычно одножильными изолированными проводами на изоляторах и в трубах.

В цеховых электрических сетях применяют для прокладки провода марок: АПВ, АПРВ, АТПРВ - непосредственно по несгораемым поверхностям; АПР - на роликах и изоляторах; АПВ, АПРТО, АПРВ, АПР - в пластмассовых и стальных трубах и металлорукавах; АПВ, АПР, АПРВ - в коробах и на лотках. Тросовые прокладки выполняют проводами АРТ.

Кабели в неметаллической и металлической оболочках применяются в наружных установках и помещениях всех видов и прокладываются по поверхности стен, потолков, на лотках и в коробах, на тросах.

Кабели в неметаллической оболочке применяются в помещениях всех видов и наружных установках в металлических гибких рукавах, стальных трубах (за исключением сырых и особо сырых помещений и наружных установок) и неметаллических трубах и коробах, в замкнутых каналах строительных конструкций.

Для стационарных электропроводок должны применяться преимущественно провода и кабели с алюминиевыми жилами.

В помещениях и наружных установках с химически активной средой все элементы электропроводок должны быть стойкими по отношению к среде либо должны быть защищены от ее воздействия.

В производственных помещениях спуски незащищенных проводов к

выключателям, аппаратам, щиткам и т. п. должны быть защищены от механических воздействий до высоты не менее 1,5 м от уровня пола.

3.4.3. Шинопроводы

Жесткий токопровод напряжением до 1 кВ заводского изготовления, поставляемый комплектными секциями, называется *шинопроводом*. Шинопроводы различных серий и типов комплектуются из отдельных секций различной конфигурации и назначения. Секции могут быть прямые, угловые, гибкие, вводные, ответвительные, компенсационные, переходные, подгоночные. Длины секций унифицированы и кратны 770 мм.

Крановые троллеи, троллейные шинопроводы, кабели в лотках и на конструкциях, блоки труб прокладывают на высоте 7... 15 м вдоль стены или подкрановой балки. Технические данные на шинопроводы приведены в табл. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

Магистральные шинопроводы предназначены для питания распределительных шинопроводов и пунктов, отдельных крупных электроприемников.

Магистральный шинопровод ШМА предназначен для магистральных четырехпроводных электрических сетей в системе с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В. Номинальный ток 1600, 2500, 4000 А.

Таблица 3.4

Технические данные магистральных шинопроводов переменного тока.

Показатель	ШЗ	Ш	ШМА-68Н	
	М-16	МА-73		
Номинальный ток, А	1600	1600	2500	4000
Номинальное напряжение, В	380/220	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	70	70	70	100
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,018	0,031	0,027	0,013
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,012	0,017	0,023	0,020
Число и размеры шин на фазу, мм	2(100x10)	2(90 x 8)	2(120x10)	2(160x10)
Число и сечение нулевых проводников, мм ²	—	2x710	2x640	2x640
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	6000	6000	3000	3000

Таблица 3.5

Технические данные распределительных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
Номинальный ток, А	250	400	630	100	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,20	0,13	0,085		0,15	0,15	0,14
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,10	0,10	0,075	—	0,20	0,20	0,10
Размеры шин на фазу, мм	35x5	50x5	80x5		35x5	50x5	80x5
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000			2000			3000

Таблица 3.6

Технические данные троллейных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШТМ73, ШТА-75	ШТМ-75, ШТА-75	ШТА-76
Номинальный ток, А	250	400	100
Номинальное напряжение, В	660	660	36...380
Частота, Гц	50...60	50...60	17...60
Номинальный ток токоъемной каретки, А	—	—	17,25
Номинальный ток токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	25	100	
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки, А	—	—	15,4
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	50	20	—
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	10	15	5
Число шин, шт.	3	3	4

Таблица 3.7

Технические данные осветительных шинопроводов переменного тока.

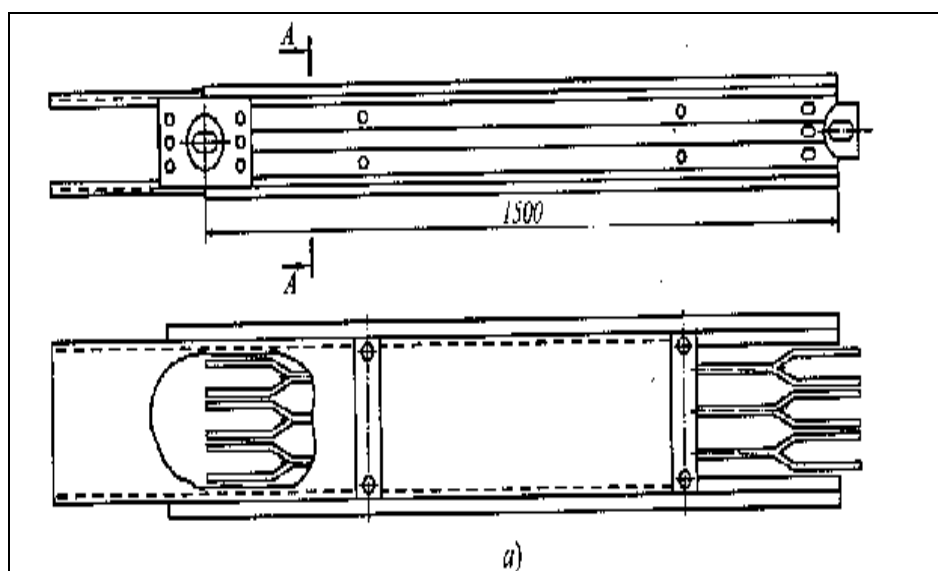
Показатель	ШОС-2-25-44	ШОС-4-	ШОС-80-43
Номинальный ток, А	25	25	1
Номинальное напряжение, В	220	380/220	6
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	3	3	2 2 0

Магистральные шинопроводы собраны из алюминиевых прямоугольных изолированных шин, расположенных вертикально и зажатых внутри перфорированного кожуха со специальными изоляторами (рис. 3.19).

Число шин в магистральных шинопроводах: 3, 4, 6 (три спаренных). Магистральный шинопровод состоит из прямых и угловых секций с поворотом шин на ребро и плоскость, ответвительных вертикальных и горизонтальных (в том числе с автоматами и рубильниками) секций и др. Шины соединяют в основном сваркой при сборке блоков.

В шинопроводе ШМА-73 кожух состоит из двух боковин двугаврового сечения и нижней перфорированных стальных крышек. Боковины (из алюминиевого сплава) используются в качестве нулевого провода.

Шинопровод ШМА-68Н пригоден для использования в четырех проводных сетях при напряжении до 1000 В. Нулевым проводом в этом шинопроводе является четвертая шина, сечение которой составляет 50 или 100% сечения фазной шины.



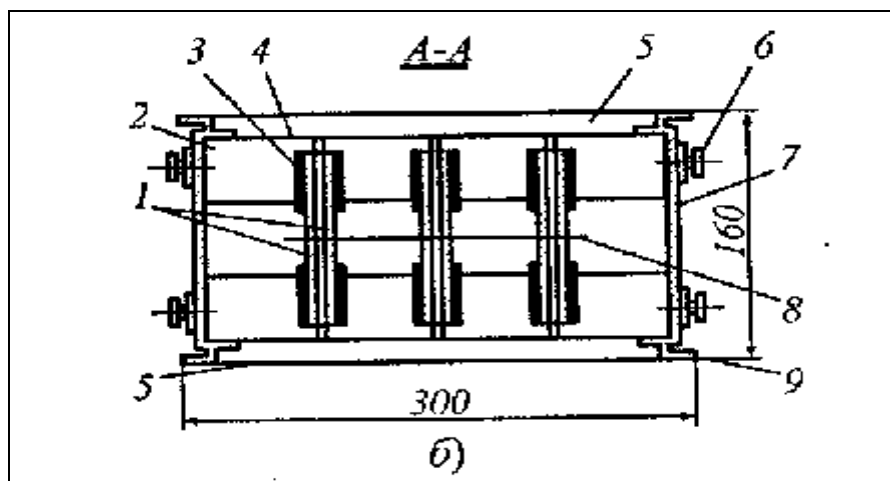


Рис. 3.19. Магистральный шинопровод ШМА-73:

а - прямая секция; *б* - поперечный разрез; 1 - фазные шины; 2 - изолятор; 3 - эластичная прокладка; 4 - верхняя крышка; 5 - обойма; 6 - болт; 7 - боковая крышка; 8 - изоляционная перегородка между шинами; 9 - угольник крепления шинопровода к опорной конструкции.

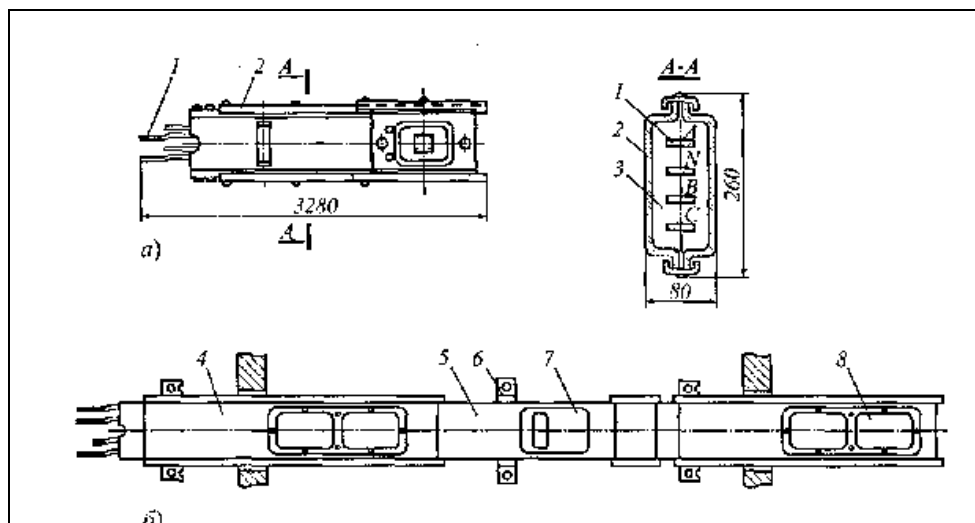


Рис. 3.20. Распределительные шинопроводы ШРА:

а - общий вид прямой секции ШРА-73; *б* - шинопровод ШРА-73В для вертикальной прокладки; 1 - шина; 2 - короб; 3 - изолятор; 4 - универсальная секция; 5 - прямая секция; 6 - кронштейн; 7 - ответвленная коробка; 8 - крышка.

Магистральные шинопроводы прокладываются на вертикальных стойках высотой 3 м. В качестве опорных конструкций применяют также кронштейны и тросовые подвески. В шинопровode ШЗМ-16-шины фаз имеют сплошную изоляцию и плотно сжаты профилированной оболочкой из алюминиевого сплава так, что обеспечивается непрерывное крепление шин по всей длине секции. Оболочка шинопровода сплошная, без отверстий, что делает эту конструкцию закрытой. В качестве нулевого проводника в шинопровode ШЗМ-16 используется его сплошная алюминиевая оболочка.

Кроме того, выпускают магистральные шинопроводы для агрессивных сред гальванических цехов ШМА-Х на силу тока 2500 и 4000 А и шинопроводы постоянного тока ШМАД и ШМАДК на напряжение 1200 В и силу тока 1600...6300 А.

Распределительные шинопроводы (рис. 3.20) ШРА (с алюминиевыми шинами) и ШРМ (с медными шинами) предназначены для передачи и распределения электроэнергии напряжением 380/220 В при возможности непосредственного присоединения к ним электроприемников в системах с глухозаземленной нейтралью. Номинальный ток ШРА - 250, 400 и 630 А; ШРМ - 100 и 250 А. Распределительные шинопроводы крепят так же, как и магистральные: на стойках, кронштейнах, подвесах (рис. 3.21).

Троллейные шинопроводы (рис. 3.22) ШТМ (с медными шинами) предназначены для питания подъемно-транспортных механизмов и переносных электрифицированных инструментов в сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью. Номинальный ток шинопроводов 100, 200 и 400 А.

Комплектные троллейные шинопроводы ШТА выполняются с троллеями из алюминиевого сплава, номинальный ток шинопроводов 100, 250 и 400 А. Осветительные шинопроводы ШОС предназначены для групповых четырехпроводных линий в сетях напряжением до 1000 В с нулевым проводом для питания светильников и электроприемников небольшой мощности. Номинальный ток 25, 63, 100 А.

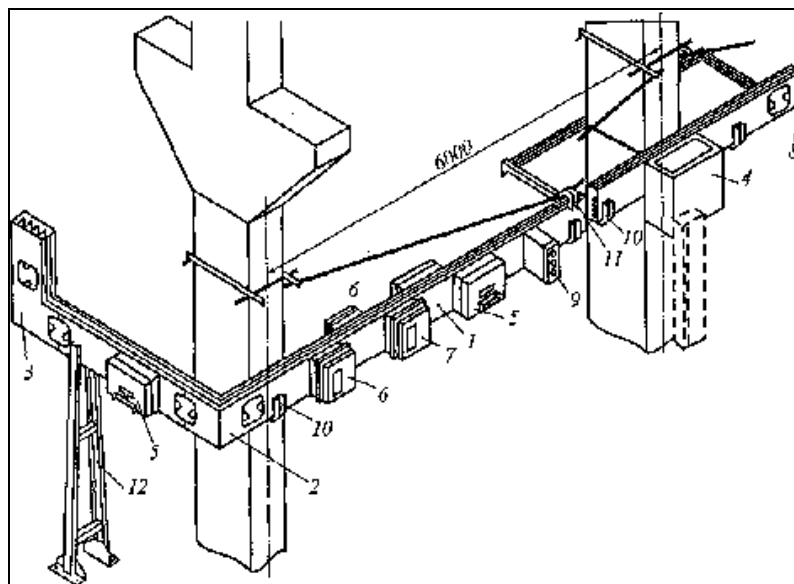


Рис. 3.21. Элементы шинопровода ШРА-73: 1 — прямая секция; 2 - секция с изгибом шин на ребро; 3 - то же на плоскость; 4 - вводная коробка; 5 -ответвительная коробка с автоматом; 6 - то же с предохранителем; 7-то же с пусковым аппаратом; 8 - заглушка торцевая; 9 - коротка с указателем наличия напряжения; 10 - 12 - конструкции для установки и крепления токопровода.

В качестве проводников используют медные изолированные провода (ШОС-67), алюминиевые шины, плакированные медью (ШОС-73А), и медные шины (ШОС-73). Прямые и фигурные секции соединяют между собой четырехполюсным штепсельным разъемом. Каждая секция имеет с одной стороны гнезда, а с другой - штыри разъема. На прямых секциях снизу через каждые 500 мм смонтированы соединительные розетки, которые закрыты откидными крышками и служат для подключения светильников втычным контактом. Номинальный ток штепселя 10 А. Короб каждой секции заземлен с помощью нулевого провода. Короба на стыке секций крепятся с помощью муфты винтами.

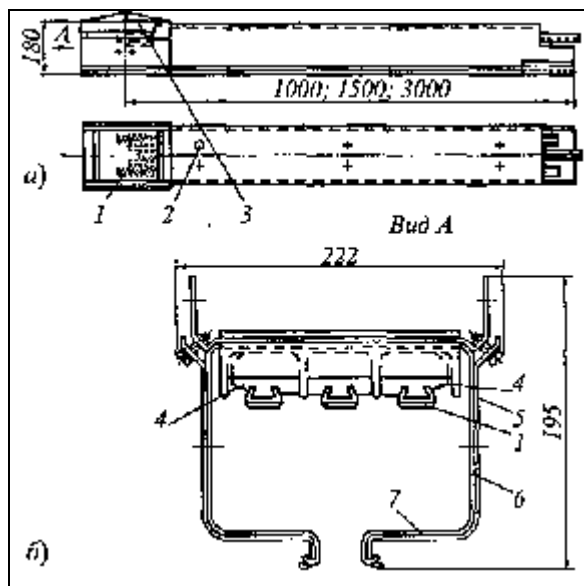


Рис. 3.22. Троллейный шинопровод ШТМ-72:
а - общий вид; *б* - поперечный разрез; 1 — троллей; 2 — крепление изолятора; 3 - серьга подвески; 4 - изолятор; 5 - короб; 6 - корпус соединительной муфты; 7 - уступ короба.

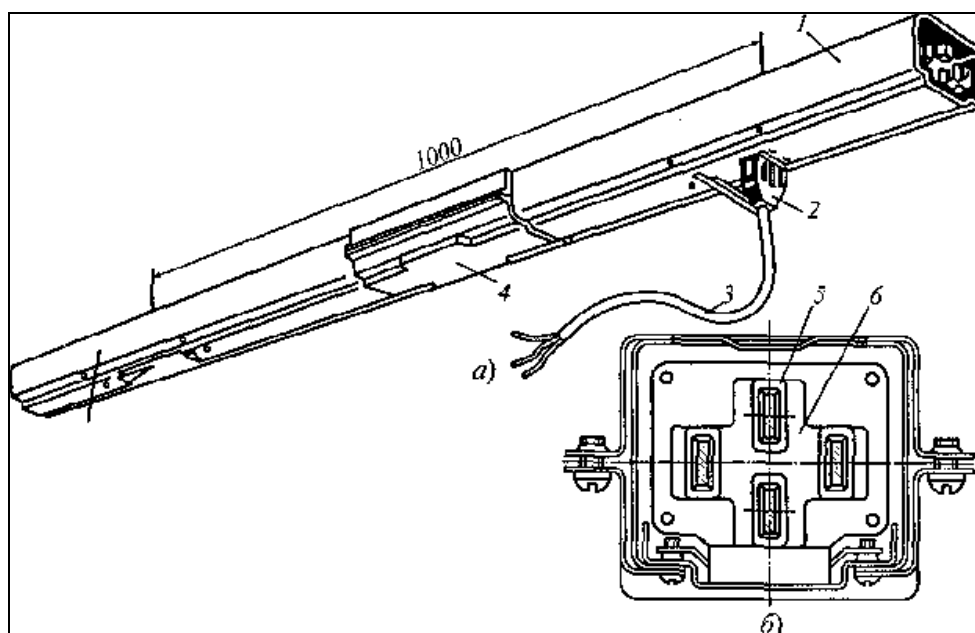


Рис. 3.23. Осветительный шинопровод ШОС-73:
а - общий вид; *б* - штепсельное соединение секций; 1 - прямая секция; 2 - осветительный штепсель; 3 - провод к светильнику; 4 - соединительная муфта; 5 - гнездо розетки; 6 - изолятор.

Светильники подвешивают к несущим конструкциям или непосредственно к осветительным шинопроводам. При этом общая нагрузка на 1 м шинопровода ШОС-73 при максимальном пролете 3 м не должна составлять более 20 кг, а шинопровода ШОС-76 при максимальном пролете 2 м - 12 кг. На рис. 3.23 показана конструкция шинопровода ШОС.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Классификация электрических сетей по конструктивному исполнению, по роду тока, по схеме соединений.
2. Из каких элементов состоят воздушные линии электропередач?
3. Что такое стрела провеса?
4. Назначение стального сердечника в проводах АС и др.?
5. Перечислите факторы, влияющие на провода.
6. Что такое «пляска» проводов?
7. На всех ли ВЛ устанавливают грозозащитные тросы?
8. Какие помехи вызывает явление «короны»?
9. Зависит число изоляторов в гирлянде от напряжения?
10. Из какого материала выполняют опоры ВЛ?
11. Назначение промежуточных, анкерных опор.
12. Что такое транспозиция проводов?
13. Преимущества кабельных линий перед воздушными.
14. Перечислите элементы кабельной линии.
15. Перечислите элементы кабеля.
16. Назначение герметичной оболочки кабеля.
17. Назначение брони кабеля.
18. Как маркируются кабели.
19. Перечислите основные достоинства кабелей с СПЭ-изоляцией.
20. Перечислите способы прокладки кабелей, в каких случаях применяется тот или иной способ.

Тема 4

Схемы электрических соединений в системе электроснабжения

4.1. Общие сведения

Система электроснабжения объекта состоит из питающих, распределительных, трансформаторных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабельных и воздушных сетей, а также токопроводов.

Схемы электрических соединений электроустановок выполняются для первичных и вторичных цепей.

К первичным цепям относятся главные цепи электроустановок, по которым электрическая энергия подается к потребителям; их схемы выполняются однолинейными и трехлинейными.

В однолинейных схемах три фазы установки и ее оборудование условно изображаются для одной фазы. На трехлинейных схемах указываются соединения для всех трех фаз, а также вторичные цепи. Полная схема получается громоздкой, поэтому она выполняется только для отдельных элементов установки.

К вторичным цепям относятся цепи, служащие для соединения вторичного электрооборудования - измерительных приборов, приборов и аппаратов управления и сигнализации, устройств релейной защиты и автоматики.

4.2. Схемы подключения источников питания

Электроснабжение от собственной электростанции (рис. 4.1). При расположении собственной электростанции вблизи от объектов и при совпадении

напряжений распределительной сети и генераторов электростанции трансформаторы присоединяются к шинам распределительных устройств (РУ) электростанции или непосредственно, или с помощью линий электропередач.

Электроснабжение от энергетической системы при отсутствии собственной электростанции(рис. 4.2 и 4.3).

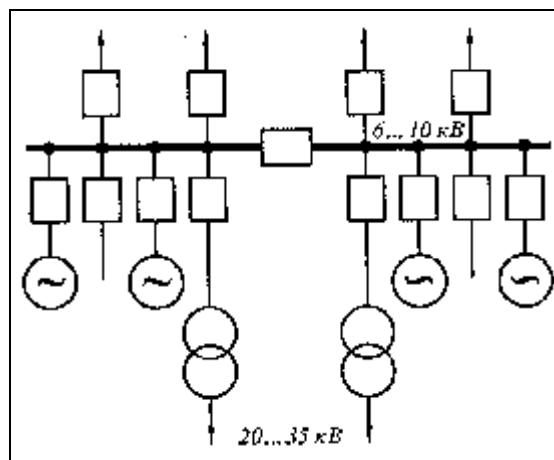


Рис. 4.1. Схема электроснабжения от собственной электростанции

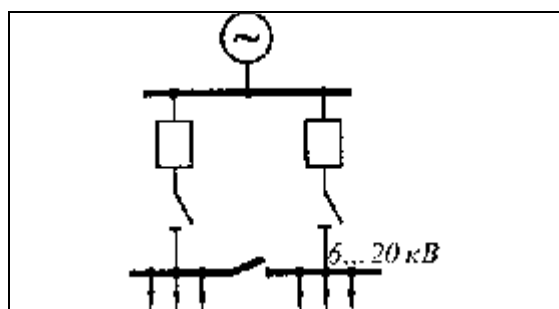


Рис. 4.2. Схема электроснабжения от электрической системы при напряжении 6...20 кВ

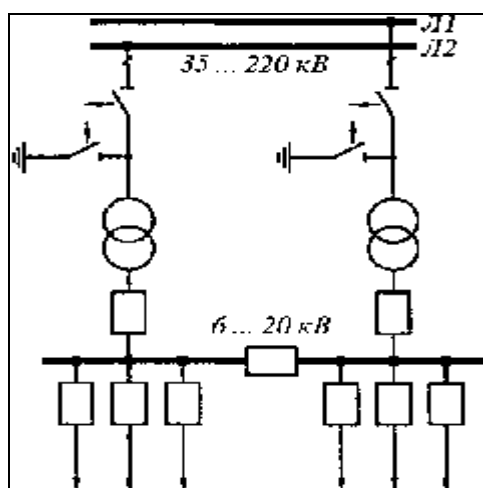


Рис. 4.3. Схема электроснабжения от электрической системы при напряжении 35...220кВ

В зависимости от напряжения источника питания электроснабжение осуществляется двумя способами: по схеме, представленной на рис. 4.2, при напряжении 6... 20 кВ; по схеме, представленной на рис. 4.3, при напряжении 35 ...

330 кВ. В указанных и приводимых далее схемах разъединители и реакторы не показаны. Схемы, представленные на рис. 4.2 и 4.3, применимы, если предприятие находится на расстоянии не более 5...10 км от подстанции системы.

4.3. Типы электроподстанций

Число и тип приемных пунктов электроэнергии (подстанций) зависят от мощности, потребляемой объектом электроснабжения, и характера размещения электропотребителей на территории объекта. При сравнительно компактном расположении потребителей и отсутствии особых требований к надежности электроснабжения вся электроэнергия от источника питания может быть подведена к одной трансформаторной (ТП) или распределительной подстанции (РП). При разбросанности потребителей и повышенных требованиях к бесперебойности электроснабжения питание следует подводить к двум и более подстанциям.

При близости источника питания к объекту и потребляемой им мощности в пределах пропускной способности линий напряжением 6 и 10 кВ электроэнергия подводится к распределительной подстанции РП или к главной распределительной подстанции (ГРП). РП служат для приема и распределения электроэнергии без ее преобразования или трансформации. От РП электроэнергия подводится к ТП и к электроприемникам напряжением выше 1 кВ, т.е. в этом случае напряжения питающей и распределительной сети совпадают.

Если же объект потребляет значительную (более 40 МВ·А) мощность, а источник питания удален, то прием электроэнергии производится на узловых распределительных подстанциях или на главных понижающих подстанциях.

Узловой распределительной подстанцией (УРП) называется центральная подстанция объекта напряжением 35 ... 220 кВ, получающая питание от энергосистемы и распределяющая ее по подстанциям глубоких вводов на территории объекта. *Главной понижающей подстанцией* (ГПП) называется подстанция, получающая питание непосредственно от районной энергосистемы и распределяющая энергию на более низком напряжении (6 или 10 кВ) по объекту.

Подстанцией глубокого ввода (ПГВ) называется подстанция на напряжение 35...220 кВ,

выполненная по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении, получающая питание непосредственно от энергосистемы или от УРП. ПГВ обычно предназначается для питания отдельного объекта (крупного цеха) или района предприятия.

4.4. Принципы выбора схемы распределения электроэнергии

Система электроснабжения может быть выполнена в нескольких вариантах, из которых выбирается оптимальный. При его выборе учитываются степень надежности, обеспечение качества электроэнергии, удобство и безопасность эксплуатации, возможность применения прогрессивных методов электромонтажных работ.

Основные принципы построения схем объектов:

максимальное приближение источников высокого напряжения 35 ...220 кВ к электроустановкам потребителей с подстанциями глубокого ввода, размещаемыми рядом с энергоемкими производственными корпусами;

резервирование питания для отдельных категорий потребителей должно быть

заложено в схеме и элементах системы электроснабжения. Для этого линии, трансформаторы и коммутационные устройства должны нести в нормальном режиме постоянную нагрузку, а в послеаварийном режиме после отключения поврежденных участков принимать на себя питание оставшихся в работе потребителей с учетом допустимых для этих элементов перегрузок;

секционирование шин всех звеньев системы распределения энергии, а при преобладании потребителей первой и второй категории установка на них устройств АВР.

Схемы строятся по уровневому принципу. Обычно применяются два-три уровня. Первым уровнем распределения электроэнергии является сеть между источником питания объекта и ПГВ, если распределение производится при напряжении 110...220 кВ, или между ГПП и РП напряжением 6... 10 кВ, если распределение происходит на напряжении 6... 10 кВ.

Вторым уровнем распределения электроэнергии является сеть между РП (или РУ вторичного напряжения ПГВ) и ТП (или отдельными электроприемниками высокого напряжения).

На небольших и некоторых средних объектах чаще применяется только один уровень распределения энергии - между центром питания от системы и пунктами приема энергии (ТП или высоковольтными электроприемниками).

4.5. Схемы электрических сетей внутри объекта на напряжении 6... 10 кВ

Электрические сети внутри объекта выполняются по магистральным, радиальным или смешанным схемам.

Радиальные схемы распределения электроэнергии применяются в тех случаях, когда

пункты приема расположены в различных направлениях от центра питания. Они могут быть двух- или одноступенчатыми. На небольших объектах и для питания крупных сосредоточенных потребителей используются одноступенчатые схемы. Двухступенчатые радиальные схемы с промежуточными РП выполняются для крупных и средних объектов с подразделениями, расположенными на большой территории. При наличии потребителей первой и второй категории РП и ТП питаются не менее чем по двум раздельно работающим линиям. Допускается питание электроприемников второй категории по одной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей.

При двухтрансформаторных подстанциях каждый трансформатор питается отдельной линией по блочной схеме линия - трансформатор. Пропускная способность блока в послеаварийном режиме рассчитывается исходя из категорийности питаемых потребителей.

При однитрансформаторных подстанциях взаимное резервирование питания небольших групп приемников первой категории осуществляется при помощи кабельных или шинных перемычек на вторичном напряжении между соседними подстанциями.

Вся коммутационная аппаратура устанавливается на РП или ГПП, а на питаемых от них ТП предусматривается преимущественно глухое присоединение трансформаторов. Иногда трансформаторы ТП присоединяются через выключатель нагрузки и разъединитель.

Радиальная схема с промежуточным РП, в которой выполнены указанные выше условия, приведена на рис. 4.4.

Радиальная схема питания обладает большой гибкостью и удобствами в эксплуатации, так как повреждение или ремонт одной линии отражается на работе только одного потребителя.

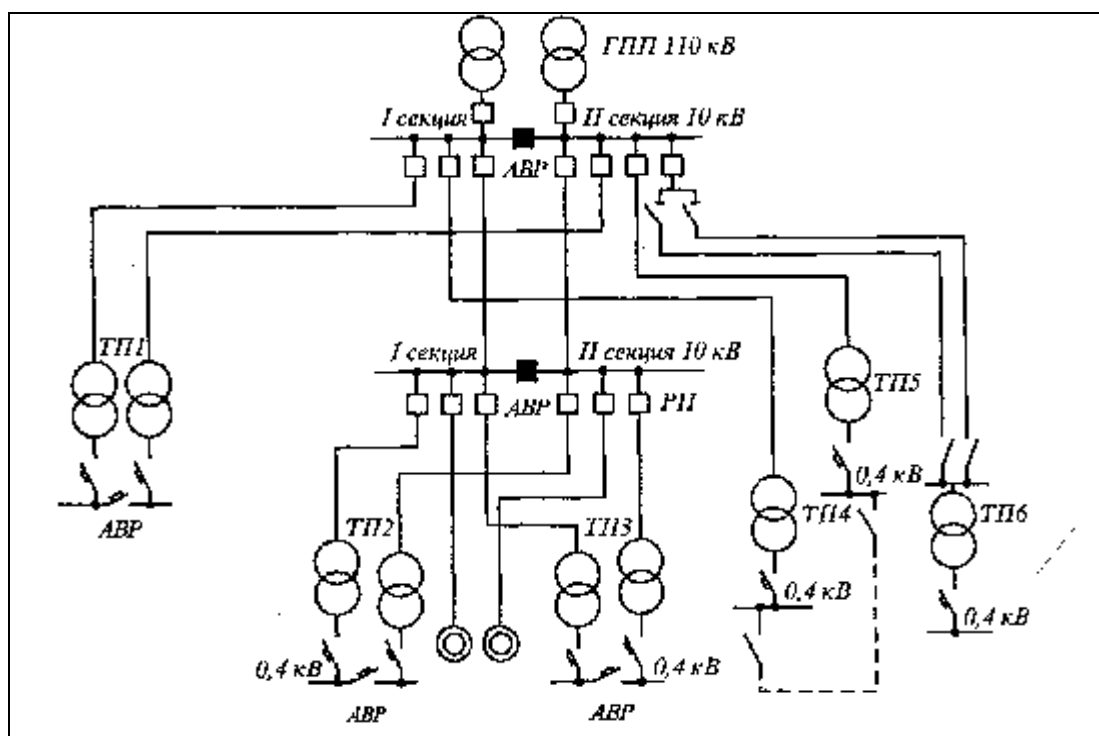


Рис. 4.4. Радиальная схема электроснабжения.

Магистральные схемы напряжением 6...10 кВ применяются при линейном («упорядоченном») размещении подстанций на территории объекта, когда линии от центра питания до пунктов приема могут быть проложены без значительных обратных направлений. Магистральные схемы имеют следующие преимущества: лучшую загрузку кабелей при нормальном режиме, меньшее число камер на РП. К недостаткам магистральных схем следует отнести усложнение схем коммутации при присоединении ТП и одновременное отключение нескольких потребителей, питающихся от магистрали, при ее повреждении.

Число трансформаторов, присоединяемых к одной магистрали, обычно не превышает двух-трех при мощности трансформаторов 1000...2500 кВ-А и четырех-пяти при мощности 250...630 кВ-А.

Магистральные схемы выполняются одиночными и двойными, с односторонним и двухсторонним питанием.

Одиночные магистрали без резервирования (рис. 4.5, а) применяются в тех случаях, когда отключение одного потребителя вызывает необходимость по условиям технологии производства отключения всех остальных потребителей (например, непрерывные технологические линии). При кабельных магистралях их трасса должна быть доступна для ремонта в любое время года, что возможно при прокладке в каналах, туннелях и т. п. Надежность схемы с одиночными магистралями можно повысить, если питаемые ими однотрансформаторные подстанции расположить таким образом, чтобы была возможность осуществить частичное резервирование по связям низкого напряжения между ближайшими подстанциями. На рис. 4.6 показана схема, на которой близко расположенные трансформаторные подстанции питаются от разных одиночных магистралей с резервированием по связям на низком напряжении. Такие магистральные схемы можно применять и для потребителей первой категории, если их мощность не превышает 15...20% от общей нагрузки трансформаторов. Трансформаторы подключаются к разным магистралям, присоединенным к разным секциям РП или РУ.

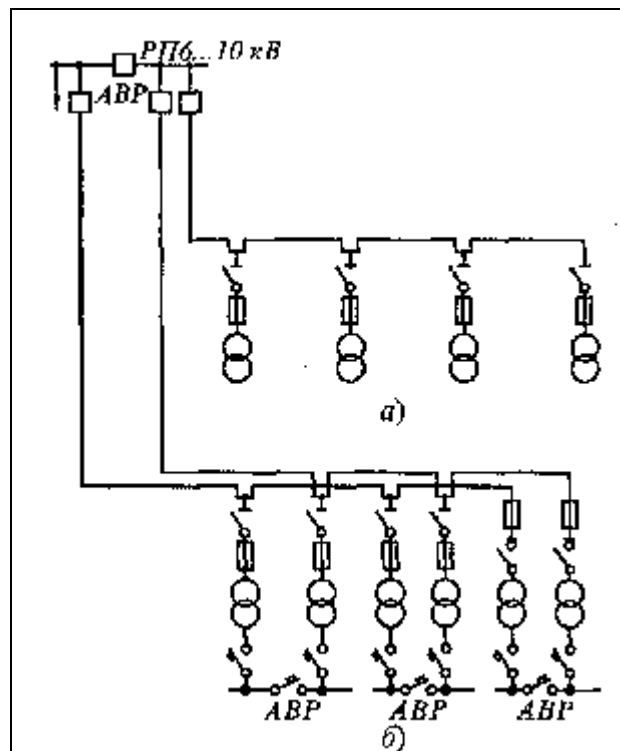


Рис. 4.5. Магистральные схемы с односторонним питанием:
а - одиночные; *б* - двойные с резервированием на НН.

Одиночные магистрали с глухими отпайками, т.е. без разъединителей на входе и выходе магистрали применяются главным образом на воздушных линиях. На кабельных линиях глухое присоединение может быть применено лишь для питания неответственных подстанций мощностью не выше 400 кВ·А.

Схемы с двойными («сквозными») магистралями (см. рис. 4.5, *б*) применяются для питания ответственных и технологически слабо связанных между собой потребителей одного объекта. Установка разъединителей на входе и выходе линии магистрали не требуется.

На крупных предприятиях применяются два или три магистральных токопровода (рис.4.7), прокладываемые по разным трассам через зоны размещения основных электрических нагрузок. На менее крупных предприятиях применяются схемы с одиночными двухцепными токопроводами. На ответвлениях от токопроводов к распределительным подстанциям устанавливаются реакторы для ограничения мощности короткого замыкания до величины отключаемой мощности выключателей. От каждого трансформатора питаются два токопровода перекрестно, т.е. разные цепи каждого токопровода питаются от разных трансформаторов.

Одиночные и двойные магистрали (рис. 4.8) с двусторонним питанием («встречные» магистрали) применяются при питании от двух независимых источников, требуемых по условиям обеспечения надежности электроснабжения для потребителей первой и второй категории. При использовании в нормальном режиме обоих источников производится деление магистрали примерно посередине на одной из промежуточных подстанций. Секционные выключатели нормально разомкнуты и снабжены устройством АВР.

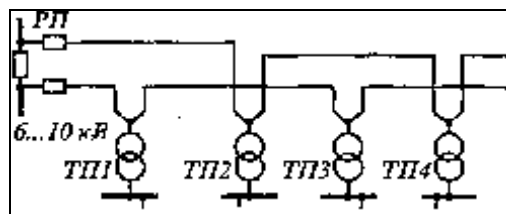


Рис. 4.6. Схема одиночных магистралей с частичным резервированием по связям вторичного напряжения

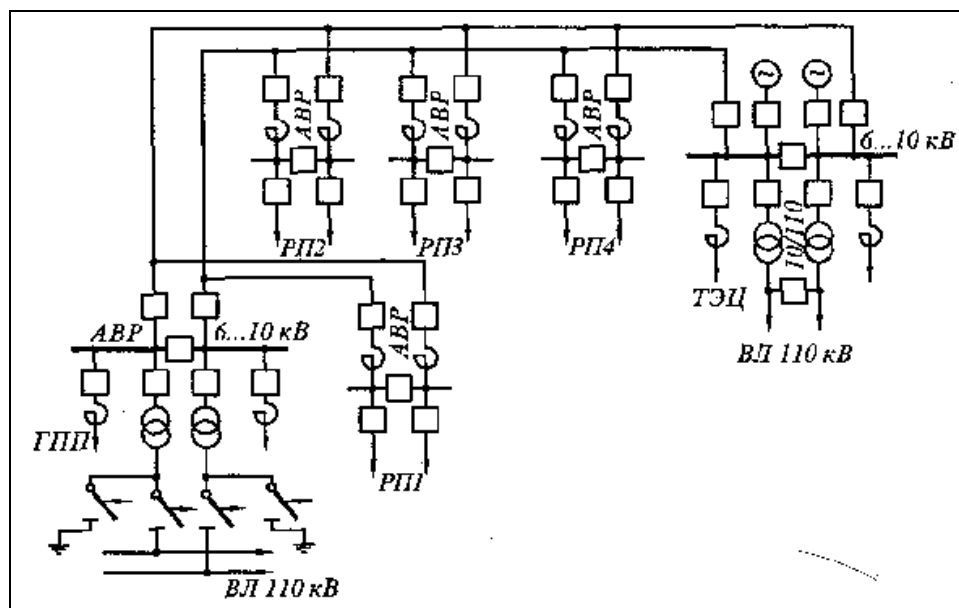


Рис. 4.7. Магистральная схема распределения электроэнергии с применением мощных токопроводов.

Смешанные схемы питания, сочетающие принципы радиальных и магистральных систем распределения электроэнергии, имеют наибольшее распространение на крупных объектах. Так, например, на первом уровне обычно применяются радиальные схемы. Дальнейшее распределение энергии от РП к цеховым ТП и двигателям высокого напряжения на таких объектах производится как по радиальным, так и по магистральным схемам.

Степень резервирования определяется категорийностью потребителей. Так, потребители первой категории должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников. В качестве второго источника питания могут быть использованы не только секционированные сборные шины электростанций или подстанций, но также и перемычки в сетях на низшем напряжении, если они подают питание от ближайшего распределительного пункта, имеющего независимое питание с АВР.

Для особо ответственных потребителей, отнесенных к особой группе первой категории, должно предусматриваться электроснабжение от трех независимых источников. Каждый из двух основных источников должен полностью обеспечивать питание потребителя, а третий независимый источник - иметь минимальную мощность для безаварийного останова производства. Третьим независимым источником может быть, например, дизельная станция, которая при отключении одного из двух независимых источников включается на холостой ход и находится в режиме «горячего» резерва.

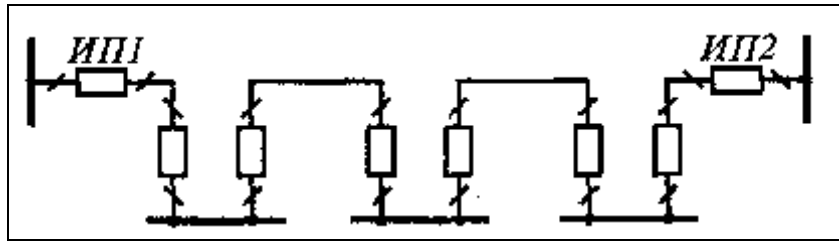


Рис. 4.8. Магистральная схема встречная с двусторонним питанием

Во избежание перегрузки третьего источника предусматривается отключение остальных потребителей перед вводом третьего источника.

В крупных городах большое распространение получила распределительная сеть напряжением 6... 10 кВ, выполненная по петлевой схеме.

На рис. 4.9 изображена петлевая линия, питающаяся от одного РП.

В нормальном режиме петлевая линия разомкнута разъединителем Р-1 и каждая магистральная линия питается от РП независимо. При повреждении какого-либо участка на одной из линий автоматически отключается выключатель на головном участке В-1 или В-2 и прекращается питание всех потребителей, присоединенных к поврежденной линии. Найдя место повреждения, этот участок вручную отключают разъединителями, замкнув перемычку А - Б разъединителем Р-1, восстанавливают питание потребителей. Самым тяжелым случаем для такой линии будет повреждение в точке К, так как питание всей нагрузки в послеаварийном режиме будет осуществляться по одной линии. Электрооборудование должно проверяться на нагрев в послеаварийном режиме. Кроме того, при этих условиях необходимо проверить линию по потерям напряжения. Число трансформаторов, присоединяемых к одной линии, не должно быть более пяти-шести. Резервная перемычка должна находиться под напряжением и при разомкнутой схеме.

Принципиальная схема присоединения петлевой линии к двум РП изображена на рис.4.10. Место размыкания линии может быть выбрано произвольно, но для получения минимальных потерь мощности желательно, чтобы оно было в точке токораздела. Каждая линия своими головными участками подключена к двум РП. Каждая часть линии от РП до токораздела питает определенное число ТП. На схеме видно, что к части линии Л-2 от РП-1 до токораздела P_4 подключены ТП-1 и ТП-2, а к части линии Л-2 от РП-2 до токораздела P_4 подключена ТП-3. Таким образом, обе части линии Л-2 находятся постоянно под напряжением. При аварии на любом участке линии Л-2, например в точке К, релейная защита, установленная на РП-1, отключит выключатель В-2 и подстанции, присоединенные к линии от РП-1 до токораздела P_4 , т.е. ТП-1 и ТП-2 прекратят подачу электроэнергии потребителям. Для восстановления питания ТП-1 и ТП-2 дежурный персонал городской электрической сети отключает аварийный участок линии разъединителями P_2 и P_3 и затем включает разъединитель P_4 , тем самым ТП-2 переводится на питание от РП-2. После ликвидации аварии на линии ТП-2 вновь будет получать питание от РП-1. Как видно из схемы, линии Л-1 и Л-2 резервируют трансформаторные подстанции со стороны линий напряжением 6... 10 кВ.

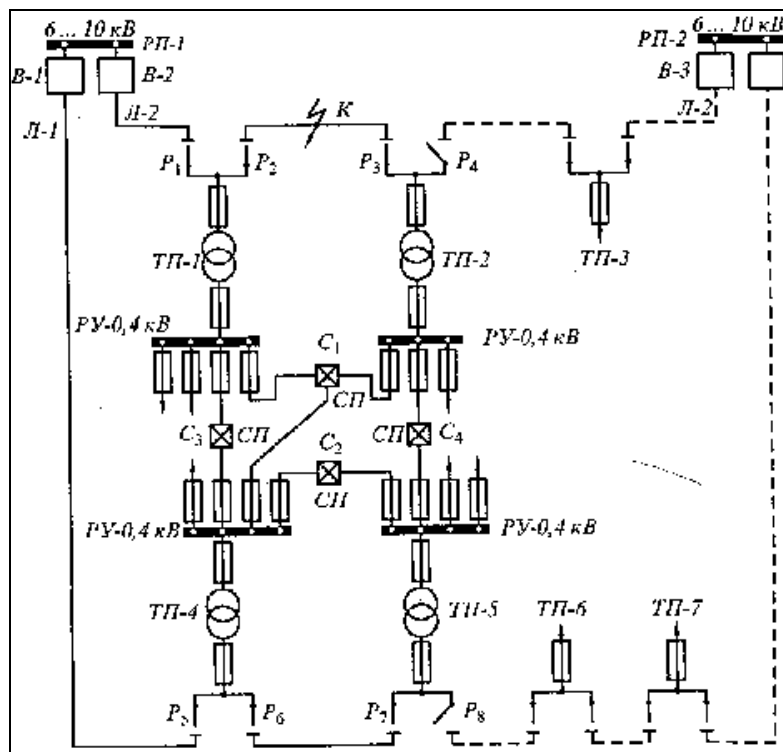


Рис. 4.10. Схема петлевой распределительной сети с резервированием на стороне НН.

Однако при повреждении трансформатора в какой-либо ТП (в этом случае независимо от резервирования ТП по линиям напряжением 6... 10 кВ) электроснабжение потребителей, подключенных к этой подстанции, прекратится. Учитывая это обстоятельство, в схеме предусматривается резервирование распределительных устройств низкого напряжения через электрическую сеть напряжением 0,4 кВ с помощью соединительных пунктов (СП) C_1 , C_2 , C_3 и C_4 . В нормальном режиме все приходящие линии напряжением 0,4 кВ в СП рассоединены, и каждая подстанция изолированно друг от друга питает определенный район потребителей.

В случае выхода из строя, например, трансформатора в ТП-2 достаточно в C_1 и C_2 замкнуть соединительные линии, и потребители, подключенные к ТП-2, получают питание от ТП-1 и ТП-5. Такое резервирование возможно при условии, что мощность трансформаторов выбрана с учетом их перегрузочной способности в послеаварийных режимах.

Следует помнить, что петлевая сеть не обеспечивает бесперебойное питание потребителей: при повреждении любого участка петлевой сети часть потребителей отключается на время, необходимое для отключения поврежденного участка и перевода на питание от неповрежденных участков сети.

Для повышения надежности электроснабжения большое распространение получили сети с устройством АВР на секционном выключателе распределительного устройства.

4.6. Схемы городских распределительных сетей напряжением до 1 кВ

Для питания потребителей третьей категории применяют радиальные не резервируемые или магистральные схемы с односторонним питанием. Магистральную схему можно применять для питания жилых домов и других потребителей при их относительно небольшой мощности.

На рис. 4.11 даны наиболее распространенные схемы распределительных

сетей напряжением до 1 кВ. Из схем 4.11, а и 4.11, 5 видно, что распределительные сети, построенные по радиальной и магистральной схемам, обеспечивают питание потребителей только в нормальном режиме. При повреждении сети на любом участке или при коротком замыкании электроснабжение всех потребителей, подключенных к сети, прекращается. Питание может быть восстановлено только после ремонта поврежденного элемента сети.

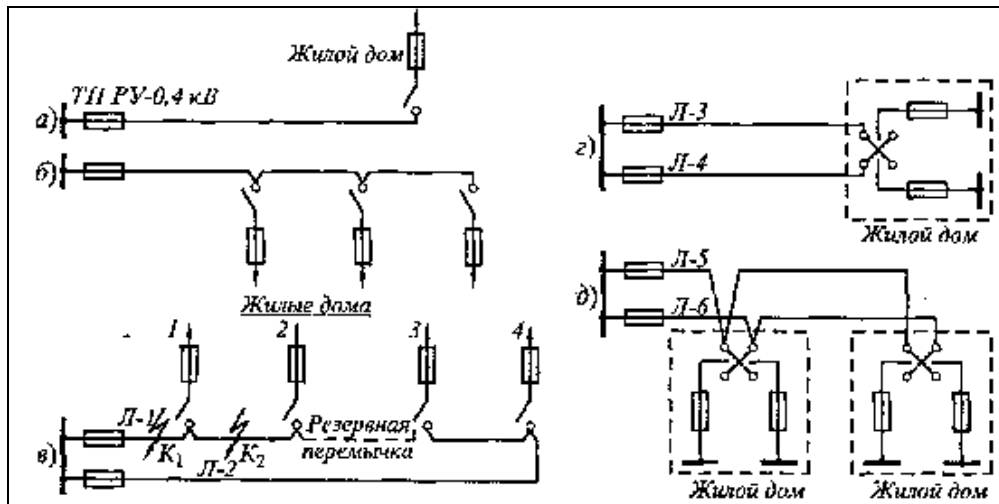


Рис. 4.11. Схемы распределительной сети жилых домов напряжением до 1 кВ

Наибольшее распространение в городских сетях получила петлевая схема, которую широко используют для электроснабжения потребителей второй категории. На рис. 4.11, в приведена петлевая схема с резервной перемычкой, включаемая в случае повреждения на одном из участков сети.

Питание электроприемников зданий высотой 9...14 этажей осуществляется по радиальной петлевой схеме (рис. 4.11, г).

Петлевая магистральная схема с двумя взаимно резервируемыми кабельными линиями с переключателями на вводах потребителей показана на рис. 4.11, д.

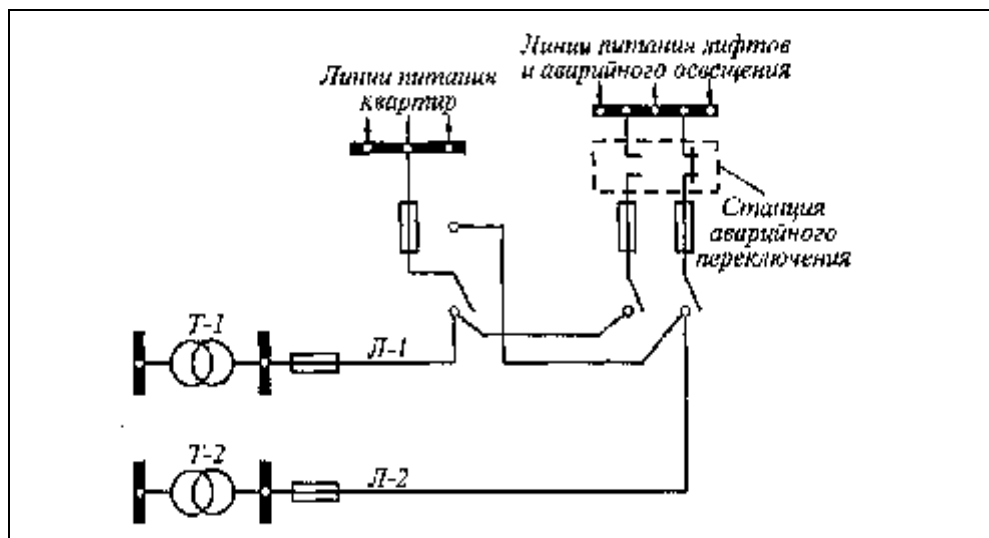


Рис. 4.12. Схема питания напряжением до 1 кВ жилого дома выше 16 этажей.

При электроснабжении зданий высотой выше 16 этажей с электроприемниками первой категории, такими как лифты, пожарные насосы, дежурное освещение и т. п., применяют схему с автоматическим их

резервированием (рис.4.12). В нормальных условиях электроприемники первой категории питаются, например, по линии Л-2 от трансформатора Т-2. При выходе из строя линии Л-2 или трансформатора Т-2 электроприемники автоматически переключаются на питание от линии Л-1 и трансформатора Т-2, чем обеспечивается бесперебойное их питание.

Для электроснабжения многоэтажных и многосекционных жилых домов, а также для питания крупных отдельно стоящих ресторанов и магазинов применяют схему с тремя резервируемыми кабелями (рис. 4.13). Как видно из схемы, каждый кабель резервирует только одну из питающих линий.

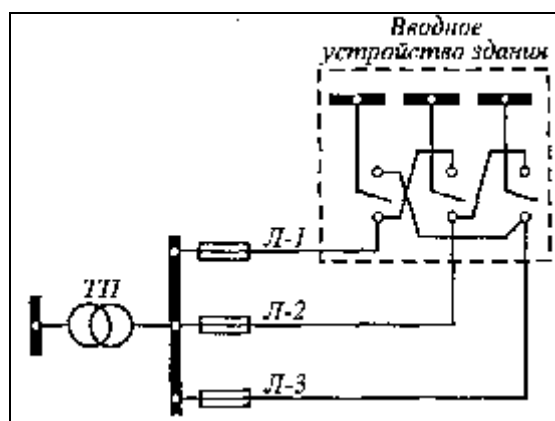


Рис.4.13. Схема питания напряжением до 1 кВ крупных магазинов, столовых, ресторанов

4.7. Схемы цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ

Основным условием рационального проектирования сети электроснабжения промышленного объекта является принцип одинаковой надежности питающей линии (со всеми аппаратами) и одного электроприемника технологического агрегата, получающего питание от этой линии. Поэтому нет смысла, например, питать один электродвигатель технологического агрегата по двум взаиморезервируемым линиям. Если технологический агрегат имеет несколько электроприемников, осуществляющих единый, связанный группой машин технологический процесс, и прекращение питания любого из этих электроприемников вызывает необходимость прекращения работы всего агрегата, то в таких случаях надежность электроснабжения вполне обеспечивается при магистральном питании (рис. 4.14). В отдельных случаях, когда требуется высокая степень надежности питания электроприемников в непрерывном технологическом процессе, применяется двустороннее питание магистральной линии (рис. 4.15).

Магистральные схемы питания находят широкое применение не только для питания многих электроприемников одного технологического агрегата, но также большого числа сравнительно мелких приемников, не связанных единым технологическим процессом. К таким потребителям относятся металлорежущие станки в цехах механической обработки металлов и другие потребители, распределенные относительно равномерно по площади цеха.

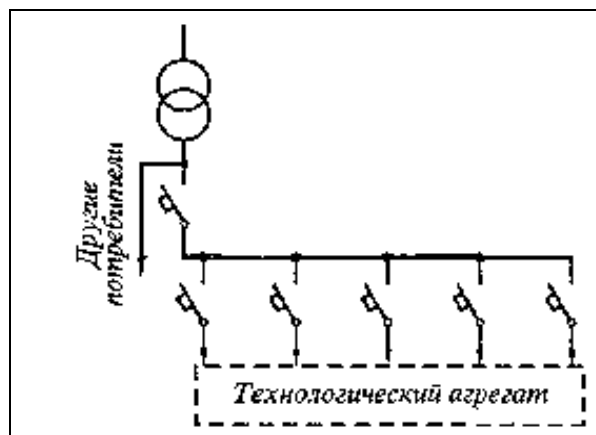


Рис. 4.14. Магистральная схема питания электроприемников цеха

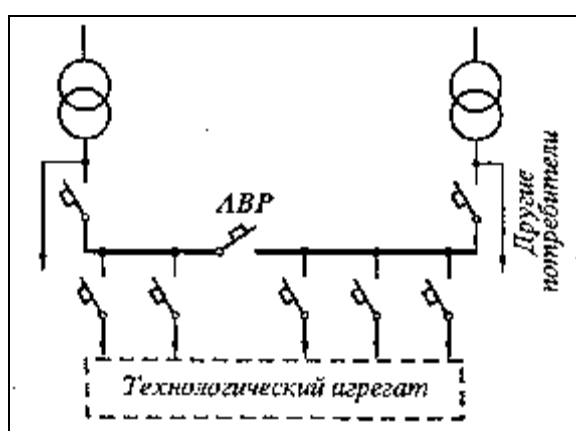


Рис. 4.15. Магистральная схема цеховой сети с двусторонним питанием

Магистральные схемы позволяют отказаться от применения громоздкого и дорогого распределительного устройства или щита. В этом случае возможно применение схемы блока трансформатор-магистраль, где в качестве питающей линии применяются токопроводы (шинопроводы), изготавливаемые промышленностью. Магистральные схемы, выполненные шинопроводами, обеспечивают высокую надежность, гибкость и универсальность цеховых сетей, что позволяет технологам перемещать оборудование внутри цеха без существенных переделок электрических сетей.

Для питания большого числа электроприемников сравнительно небольшой мощности, относительно равномерно распределенных по площади цеха, применяются схемы с двумя видами магистральных линий: питающими и распределительными (рис. 4.16).

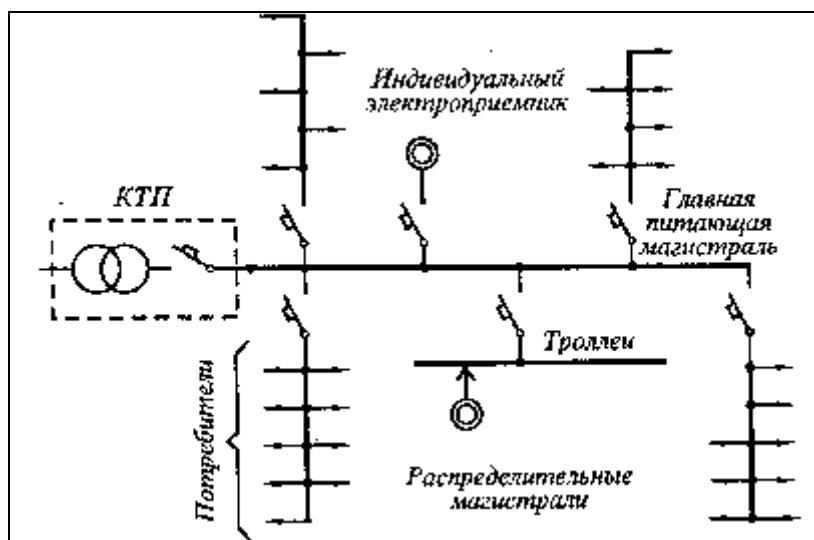


Рис. 4.16. Схема питающих и распределительных линий в цехе.

Питающие, или главные, магистрали подключаются к шинам шкафов трансформаторной подстанции, специально сконструированным для магистральных схем. Распределительные магистрали, к которым непосредственно подключаются электроприемники, получают питание от главных питающих магистралей или непосредственно от шин комплектной трансформаторной подстанции (КТП), если главные магистрали не применяются (рис. 4.17).

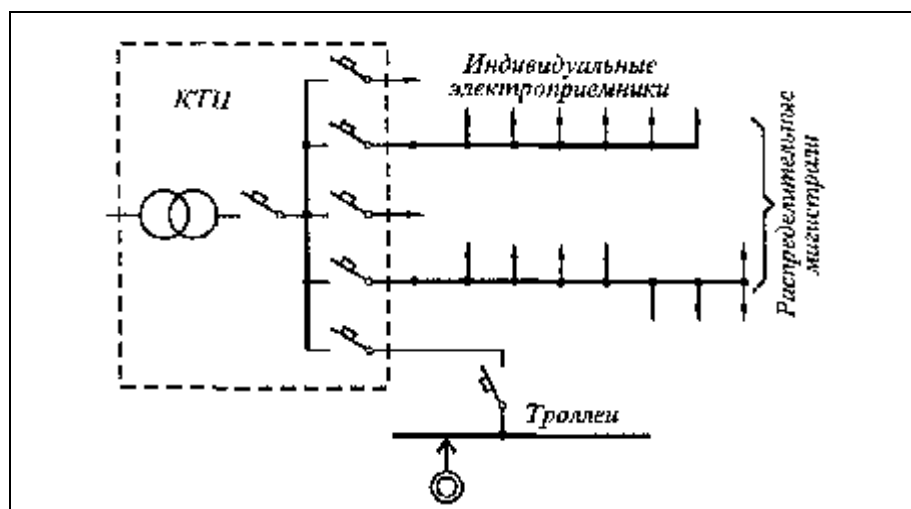


Рис. 4.17. Схема распределительных магистралей, подключенных непосредственно к шинам комплектной трансформаторной подстанции.

К главным питающим магистралям подсоединяется возможно меньшее число индивидуальных электроприемников. Это повышает надежность всей системы питания.

Следует учитывать недостаток магистральных схем, заключающийся в том, что при повреждении магистрали одновременно отключаются все питающиеся от нее электроприемники. Этот недостаток ощутим при наличии в цехе отдельных крупных потребителей, не связанных единым непрерывным технологическим процессом.

Радиальные схемы питания характеризуются тем, что от источника питания, например от КТП, отходят линии, питающие непосредственно мощные

электроприемники или отдельные распределительные пункты, от которых самостоятельными линиями питаются более мелкие электроприемники (рис. 4.18).

Радиальные схемы обеспечивают высокую надежность питания отдельных потребителей, так как аварии локализуются отключением автоматического выключателя поврежденной линии и не затрагивают другие линии.

Все потребители могут потерять питание только при повреждении на сборных шинах КТП, что мало вероятно вследствие достаточно надежной конструкции шкафов этих КТП.

Сосредоточение на КТП аппаратов управления и защиты отдельных присоединений позволяет легче решать задачи автоматизации в системе распределения электроэнергии на напряжении до 1 кВ, чем при рассредоточенном расположении аппаратов, что имеет место при магистральной системе.

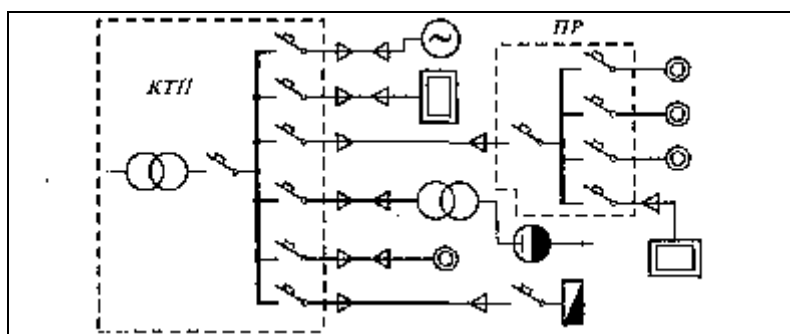


Рис. 4.18. Схема радиального питания электроприемников цеха.

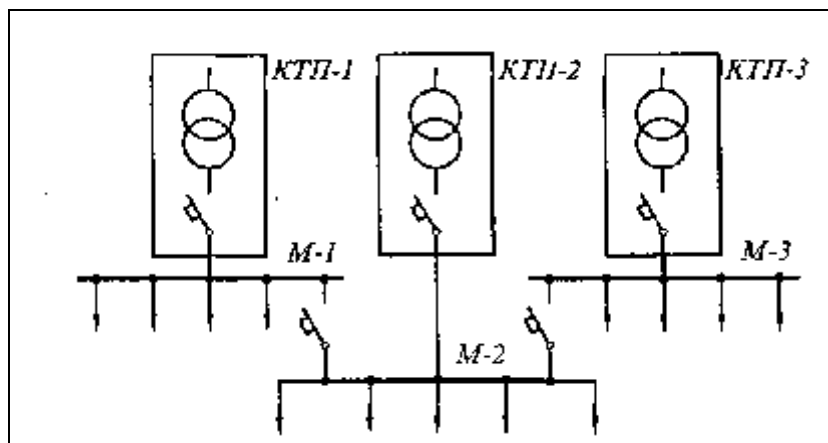


Рис. 4.19. Схема взаимного резервирования питающих магистралей цеха.

Радиальные схемы питающих сетей с распределительными устройствами или щитами следует применять при наличии в цехе нескольких достаточно мощных потребителей, не связанных единым технологическим процессом или друг с другом настолько, что магистральное питание их нецелесообразно.

К числу таких потребителей могут быть отнесены электроприемники, требующие применения автоматических выключателей на номинальный ток 400 А и более с дистанционным управлением.

В чистом виде радиальные и магистральные схемы применяются редко. Наибольшее распространение на практике находят смешанные схемы, сочетающие элементы радиальных и магистральных схем. В крупных цехах металлургических заводов, литейных, кузнечных и механосборочных цехах машиностроительных

заводов, на заводах искусственного волокна и других предприятиях всегда имеются и радиальные, и магистральные схемы питания различных групп потребителей.

Большое значение для повышения надежности питания имеют перемычки между отдельными магистралями или соседними КТП -при радиальном питании (рис. 4.20).

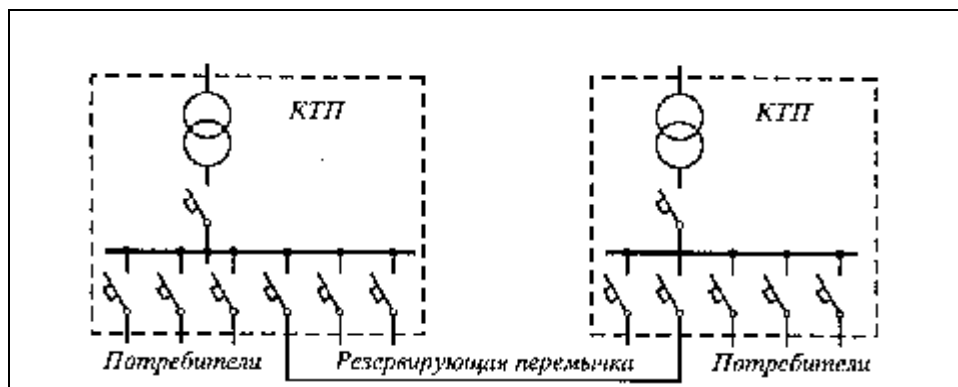


Рис.4.20. Схема резервирования при радиальном питании потребителей цеха.

Такие перемычки, обеспечивая частичное или полное взаимное резервирование, создают удобства для эксплуатации, особенно при проведении ремонтных работ. Проектирование сетей во всех случаях должно выполняться на основе хорошего знания проектировщиком-электриком технологии проектируемого предприятия, степени ответственности отдельных электроприемников в технологическом процессе.

Большое влияние на принимаемые решения оказывают условия окружающей среды в проектируемом цехе.

Располагать электрооборудование в пожаро- и взрывоопасных или пыльных помещениях следует только в случае острой необходимости, когда другие решения оказываются нерациональными или крайне сложными. При этом следует иметь в виду, что в этих неблагоприятных средах, как правило, применяется специально сконструированное оборудование.

В условиях неблагоприятных сред магистральные схемы нежелательны, так как при их применении коммутационные аппараты неизбежно рассредоточены по площади цеха и подвергаются воздействию агрессивной среды. В таких цехах наибольшее применение находят радиальные схемы питания, при которых все коммутационные аппараты располагаются в отдельных помещениях, изолированных от неблагоприятных агрессивных и взрывоопасных сред.

4.8. Схемы осветительных сетей

Напряжение осветительных сетей. Для светильников общего освещения разрешается применять напряжения:

не выше 380/220 В переменного тока - при заземленной нейтрали;
220 В при изолированной нейтрали.

Для светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения:

в помещениях без повышенной опасности не выше 220 В;
в помещениях с повышенной опасностью не выше 40 В.

Для ручных переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью должно применяться напряжение не выше 42 В. При особо неблагоприятных условиях, когда опасность поражения током усугубляется теснотой,

неудобным положением работающего, соприкосновением с заземленными металлическими поверхностями для ручных светильников, должно применяться напряжение не выше 12 В.

Схемы питания освещения зданий. Питание осветительных установок обычно производят от общих для силовых и осветительных приемников трансформаторов на напряжении 380/220 В. Область применения самостоятельных осветительных трансформаторов в сетях промышленных предприятий ограничивается случаями, когда характер силовой нагрузки (мощные сварочные аппараты, частый пуск мощных электродвигателей с короткозамкнутым ротором) не позволяет при совместном питании обеспечить требуемое качество напряжения у ламп.

Если силовые приемники питаются от сети напряжением 660/380 В с заземленной нейтралью, то к этой же сети могут быть присоединены светильники, рассчитанные на напряжение 380 В (газоразрядные лампы). Питание всех остальных осветительных приемников производится от промежуточных трансформаторов напряжением 660/380... 220 В или от отдельных трансформаторов напряжением 6... 10/0,38... 0,22 кВ.

Осветительные сети не совмещаются с силовыми сетями. Наиболее характерные схемы

питания осветительных установок приведены на рис. 4.21, 4.22, 4.23, 4.24. В качестве аппаратов защиты и управления линиями питающей сети показаны автоматические выключатели (автоматы). На щитах подстанций и магистральных щитках (пунктах) могут использоваться предохранители и рубильники.

Питание от одно- и двухтрансформаторных встроенных комплектных трансформаторных подстанций (см. рис. 4.21). Для питания освещения в большинстве случаев устанавливаются магистральные щитки 6 с автоматами. При устройстве дистанционного управления освещением устанавливаются щиты станций управления (ЩСУ) 7 с автоматами и магнитными пускателями или контакторами.

От магистральных щитков или ЩСУ отходят линии питающей сети к групповым щиткам 8; магистральный щиток или ЩСУ питается непосредственно от КТП.

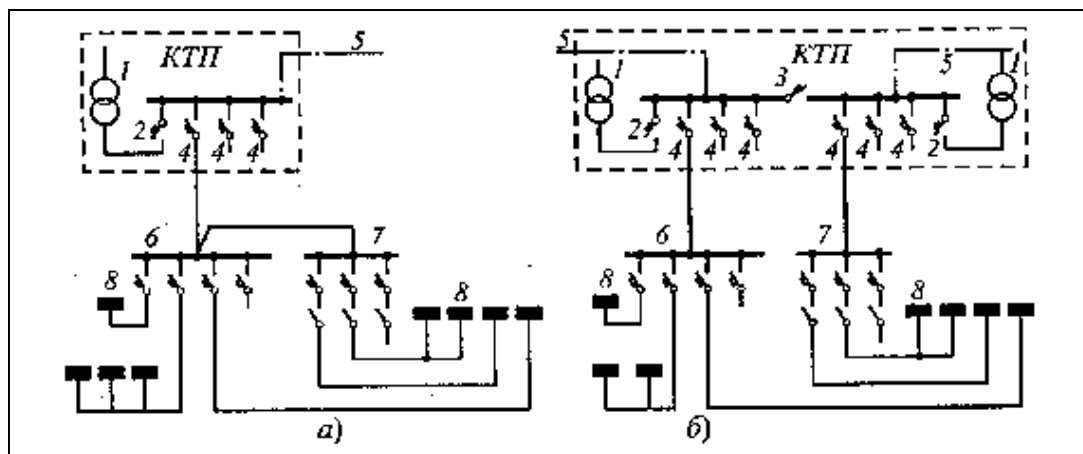


Рис. 4.21. Схемы питания рабочего освещения от КТП:

а - однострансформаторная КТП; б - двухтрансформаторная КТП; 1 - трансформатор; 2 - вводной автоматический выключатель; 3 - секционный автоматический выключатель; 4 - линейный автоматический выключатель; 5 - силовой магистральный шинопровод; 6 - магистральный щиток; 7 - щит станции управления; 8 - групповой щиток рабочего освещения

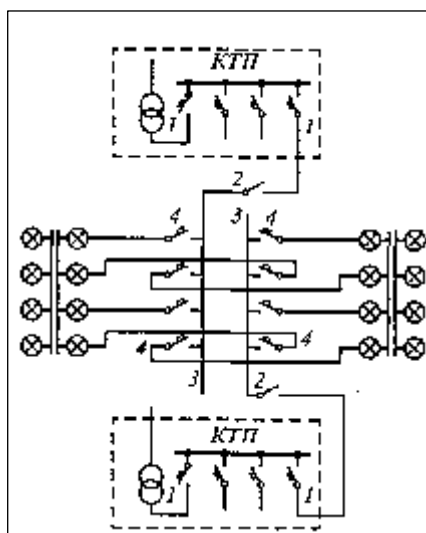


Рис. 4.22. Схема питания освещения распределительными шинопроводами:

- / - автоматический выключатель на щите КТП; 2 - выключатель;
 3 - шинопровод распределительный;
 4 - автоматический выключатель на шинопроводе.

В цехах, где светильники устанавливаются на специальных мостиках, применяется схема питания распределительными шинопроводами типа ШОС на силу тока 250, 400 и 630 А (см. рис. 4.22).

Светильники питаются через автоматы 4, устанавливаемые на шинопроводах; при этом пропадает необходимость в групповых щитках. Управление освещением производится выключателями 2, которые при устройстве дистанционного управления освещением заменяются магнитными пускателями и контакторами. Такую схему целесообразно применять в помещениях с нормальными условиями среды при значительной суммарной мощности светильников и допустимости одновременного включения общего освещения больших участков.

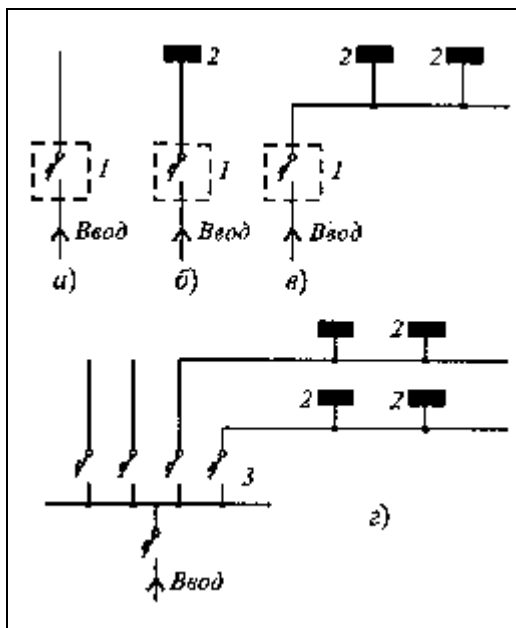


Рис. 4.23. Схемы вводов в здания: а - питание светильников 2 непосредственно от вводного ящика 1; б - то же от одного группового щитка; в — то же от нескольких щитков; г - то же через магистральный щиток 3.

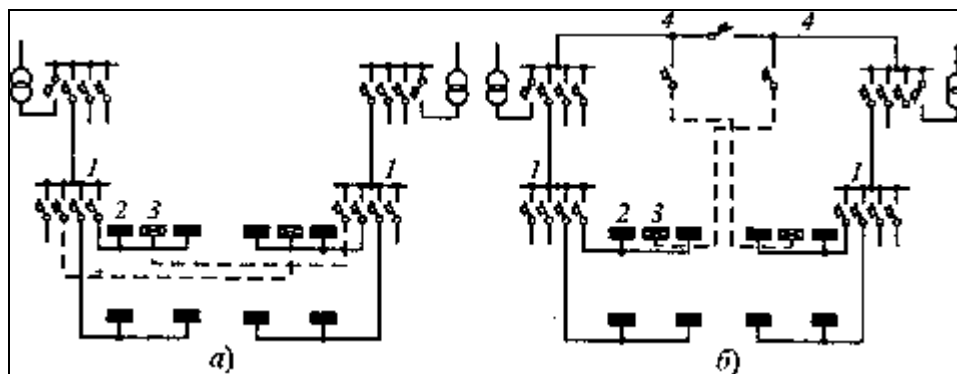


Рис. 4.24. Схемы перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения:
а - от магистральных щитков; *б* - от силовых магистралей; 1 - магистральный щиток;
 2 — щиток рабочего освещения; 3 - щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 4 -
 силовая магистраль.

Питание от отдельно стоящих подстанций. Освещение зданий, не имеющих встроенных подстанций, питается кабельными или воздушными линиями от ближайших подстанций. В зданиях с большой мощностью освещения вводится одна или две линии, а при небольшой мощности одной линией питается освещение нескольких зданий. На вводе каждой линии в здание устанавливается вводное устройство (см. рис.4.23) с автоматами. Для небольших зданий, имеющих несколько светильников, групповые линии, питающие светильники, присоединяются к автомату ввода (см. рис. 4.23, *а*). При большой мощности освещения в здании устанавливается один (см. рис. 4.23, *б*) или несколько (см. рис. 4.23, *в*) групповых щитков, питаемых одной линией. Если одной линии оказывается недостаточно, на вводе устанавливается магистральный щиток (см. рис. 4.23, *г*).

Питание аварийного и эвакуационного освещения. Намечая схему питания аварийного и эвакуационного освещения, необходимо соблюдать требования к надежности их действия. Групповые щитки этих видов освещения могут питаться, как и щитки рабочего освещения, отдельными линиями через магистральные щитки от щитов подстанций (см. рис. 4.21), от вводов в здания (см. рис. 4.23) или от силовой сети (см. рис. 5.24). Если в здании расположены несколько однотрансформаторных подстанций, питаемых от независимых источников питания, аварийное освещение может питаться по перекрестной схеме. В этом случае рабочее и аварийное освещение каждого участка здания питается от разных подстанций.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Из каких объектов состоит система электроснабжения?
2. Что относится к первичным цепям?
3. Что относится к вторичным цепям?
4. Какая подстанция называется узловой?
5. Какая подстанция называется подстанцией глубокого ввода?
6. По каким схемам выполняются электрические сети внутри объекта?
7. Преимущества радиальных, магистральных схем.
8. Перечислите основные принципы построения схем объектов.
9. Какие схемы применяются для потребителей третьей категории?
10. Что является основным условием рационального проектирования сети электроснабжения промышленного объекта?

Тема 5

Схемы электрических соединений подстанций

5.1. 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, раздельной работы линий и раздельной 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 реактировании 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.

5.2. Схемы главных понижающих подстанций и подстанций глубокого ввода

5.2.1. Присоединение главных понижающих подстанций и подстанций глубокого ввода к линиям напряжением 35...220 кВ

Схемы подстанций без сборных шин на первичном напряжении 35...220 кВ (рис. 5.1, а, б), основанные на блочном принципе, применяются при питании как непосредственно от районных сетей энергосистемы, так и от узловых подстанций.

Установка выключателя на стороне высшего напряжения трансформатора считается нецелесообразной, так как отключить трансформатор (при необходимости вывода его в ремонт) можно выключателем на районной подстанции и разъединителем $P1$ трансформатора ГПП или ПГВ. Большинство трансформаторов после снятия с них нагрузки выключателем на вторичном напряжении можно отсоединять от напряжения разъединителем или отделителем без отключения выключателя на районной подстанции.

Наиболее рациональной и достаточно надежной считается схема с применением на высшей стороне подстанции короткозамыкателей (рис. 5.1, б, г). При повреждении внутри трансформатора действует релейная защита, которая замыкает цепь привода короткозамыкателя и ножи короткозамыкателя включаются. Создается короткое замыкание на линии, что приводит в действие защиту, установленную на питающем конце линии, и выключатель на районной подстанции отключает линию вместе с трансформатором.

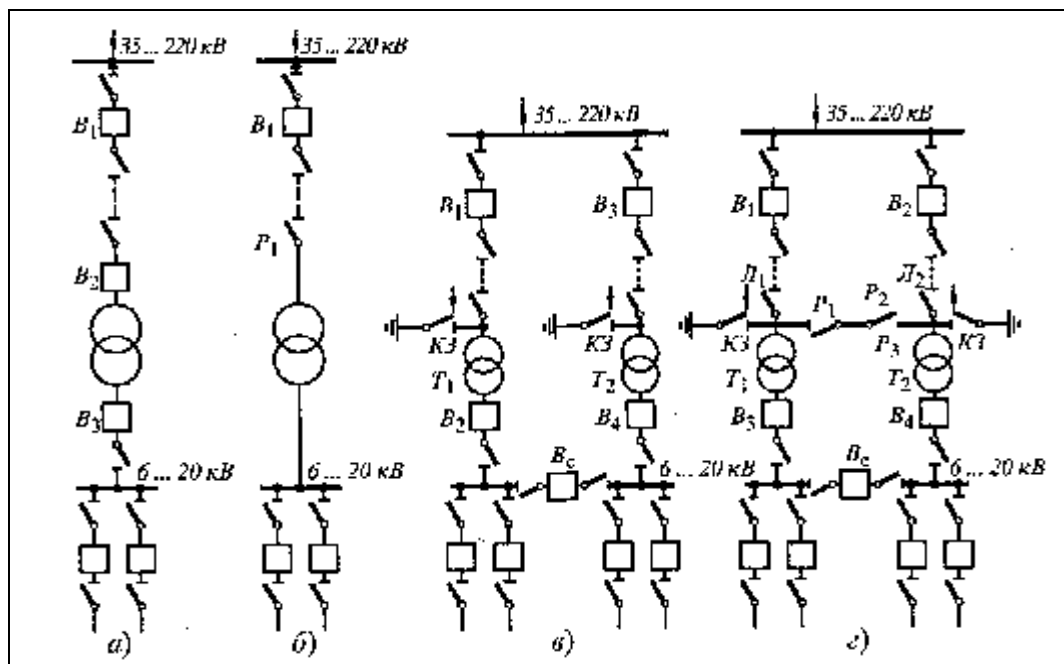


Рис. 5.1. Схемы подстанций без сборных шин на первичном напряжении 35...220кВ.

В схеме, изображенной на рис. 5.1, г, на стороне высшего напряжения трансформаторов применена перемычка с отделителями. При повреждении одной линии и отключения ее выключателем на питающем конце и отсоединения разъединителем на стороне высшего напряжения трансформатора можно включить перемычку из отделителей. Таким образом, можно осуществить питание двух трансформаторов от одной линии.

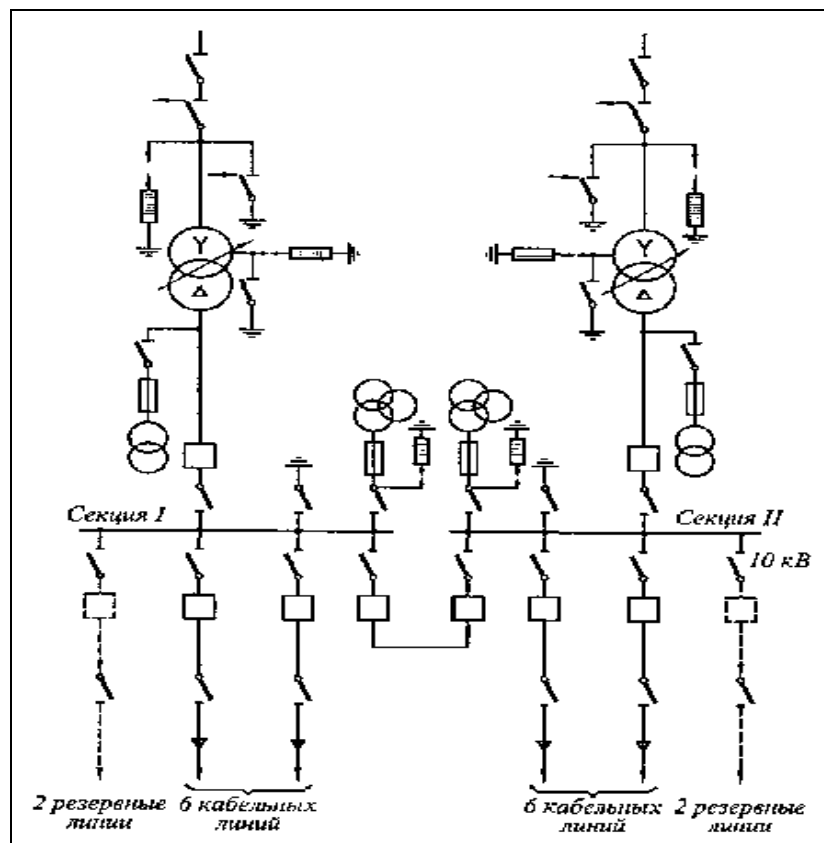


Рис. 5.2. Схема электрических соединений подстанции на отпайках от магистральной линии напряжением 35... 220 кВ с двумя трансформаторами мощностью до 16 МВ·А.

При питании ГПП или ПГВ на отпайках от двухцепной магистральной линии напряжением 35...220 кВ также используются схемы с короткозамыкателями (рис. 5.2).

Однако здесь последовательно с разъединителем включен отделитель. При повреждении внутри трансформатора действует релейная защита, которая включает короткозамыкатель. Выключатель на районной подстанции отключает магистральную линию вместе со всеми присоединенными к ней трансформаторами. Затем приводится в действие привод отделителя, и отделитель отсоединяет поврежденный трансформатор от магистральной линии. Далее, после бес- токовой паузы срабатывает автоматическое повторное включение выключателя на головном участке магистрали и питающая линия включается под напряжение со всеми неповрежденными присоединениями.

На рис. 5.3 приведена схема подстанции напряжением 35/6... 10 кВ с трансформаторами мощностью до 3200 кВ·А. В схеме для защиты используется предохранитель на напряжение 35 кВ. Для отключения тока холостого трансформатора служит разъединитель на напряжение 35 кВ. Перед отключением разъединителя трансформатор отключается от тока нагрузки выключателем со стороны вторичного напряжения.

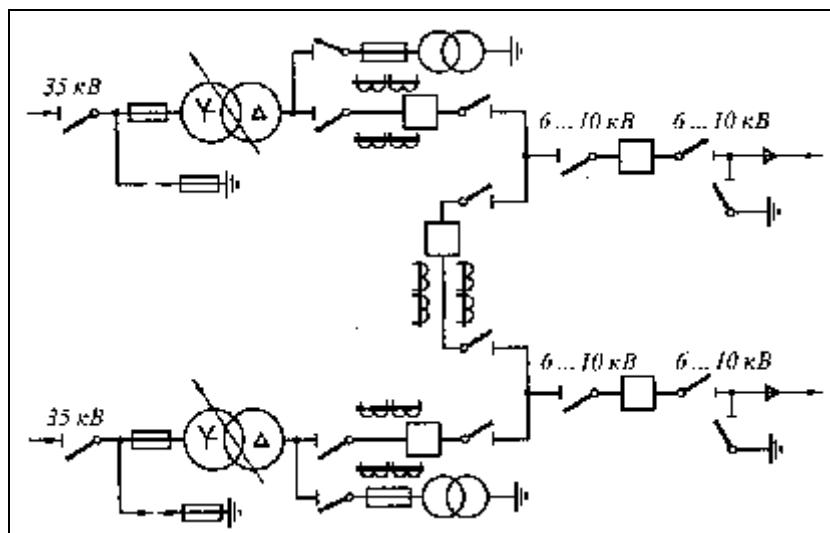


Рис. 5.3. Схема электрических соединений подстанции напряжением 35/6... 10 кВ с трансформаторами мощностью до 3200 кВ·А.

5.2.2. 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. 5.1) могут быть выполнены с использованием комбинаций из схем, приведенных ниже. Секции сборных шин работают раздельно.

Таблица 5.1

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 резком перемене нагрузок
	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

5.2.3. 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 присоединения.

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. 5.4 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.

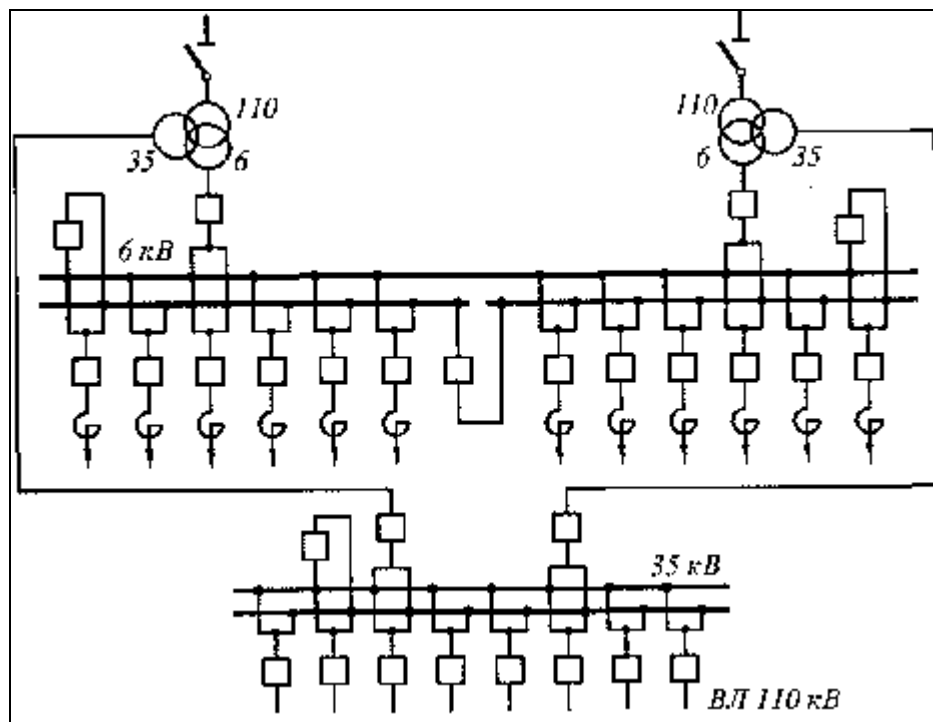


Рис. 5.4. Схема мощной ГПП с двойной системой шин на вторичном напряжении

5.3. Схемы распределительных подстанций напряжением выше 1 кВ

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 при этом ошибок. Разъединители здесь не являются оперативными и служат лишь для снятия напряжения с выключателя на время его ревизии и ремонта. Поэтому серьезных последствий от ошибок при оперировании с ними не бывает, так как они снабжены надежной и простой механической блокировкой с выключателями.

Одиночные системы шин бывают секционированные и несекционированные.

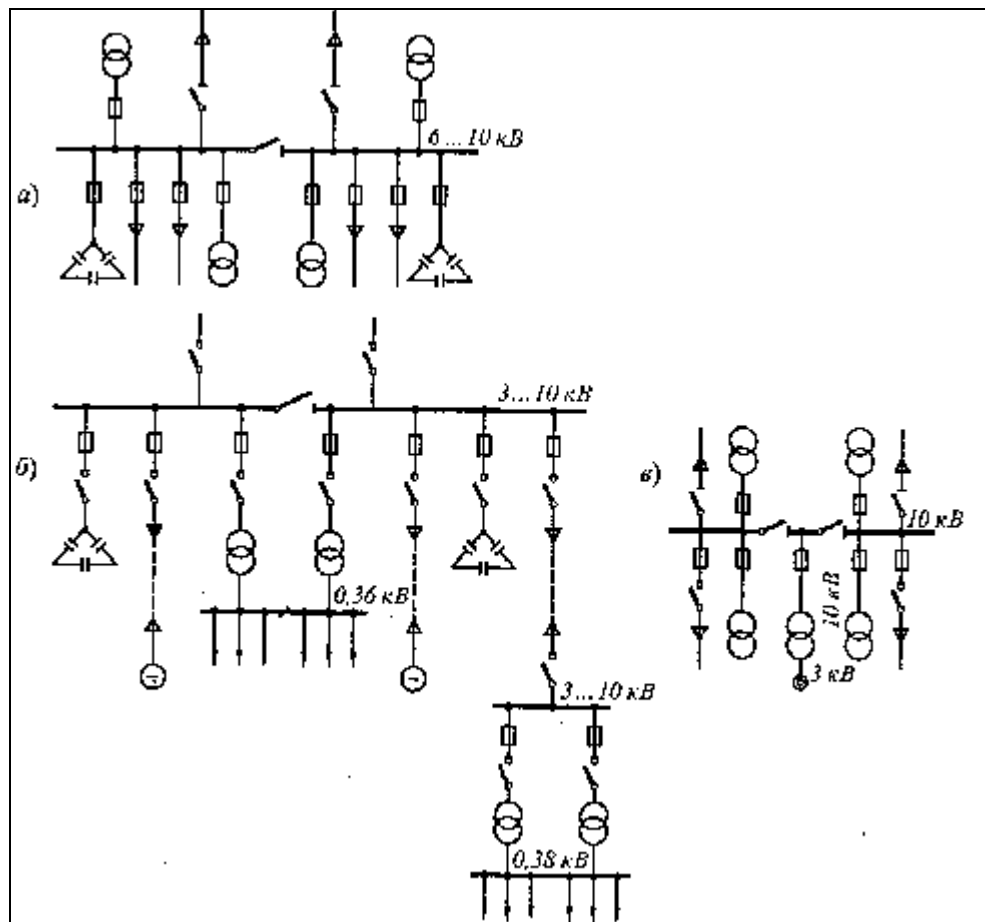


Рис. 5.5. Схемы небольших распределительных подстанций с одной системой сборных шин: а - с разъединителями; б - с выключателями нагрузки; в - с тремя секциями.

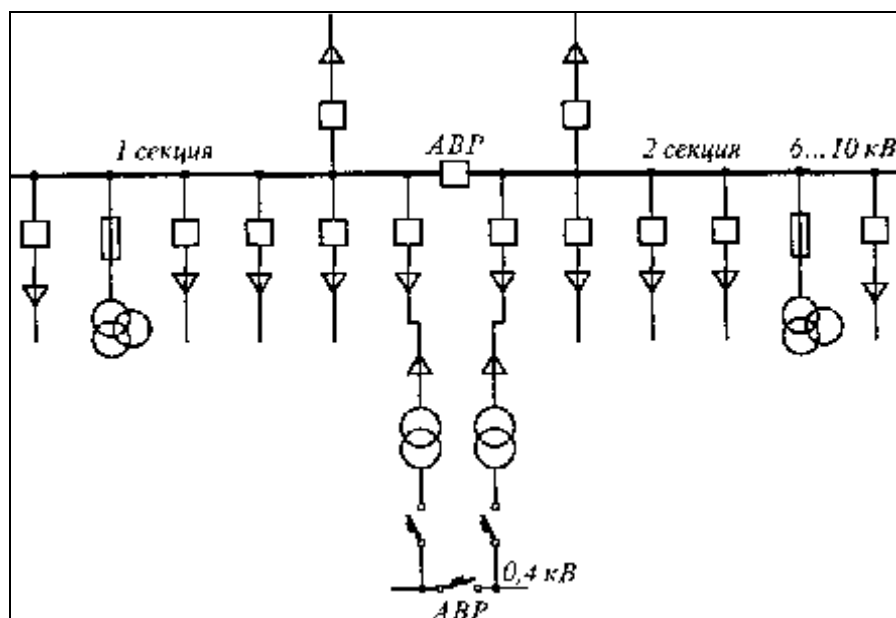


Рис. 5.6. Схема ответственной распределительной подстанции средней мощности, секционированной выключателем.

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. 5.5 приведены схемы небольших РП, секционированных при помощи разъединителей. Крупный ответственный двигатель на рис. 5.5, 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. На рис. 5.6 и 5.7 даны примеры выполнения схем распределительных подстанций с одной системой шин, секционированной при помощи выключателей.

На рис. 5.6 дана 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.

На рис. 5.7 приведена схема крупной подстанции с АВР на секционном выключателе с применением КРУ с выдвижными выключателями. РП предназначена для питания электродвигателей на напряжение выше 1 кВ.

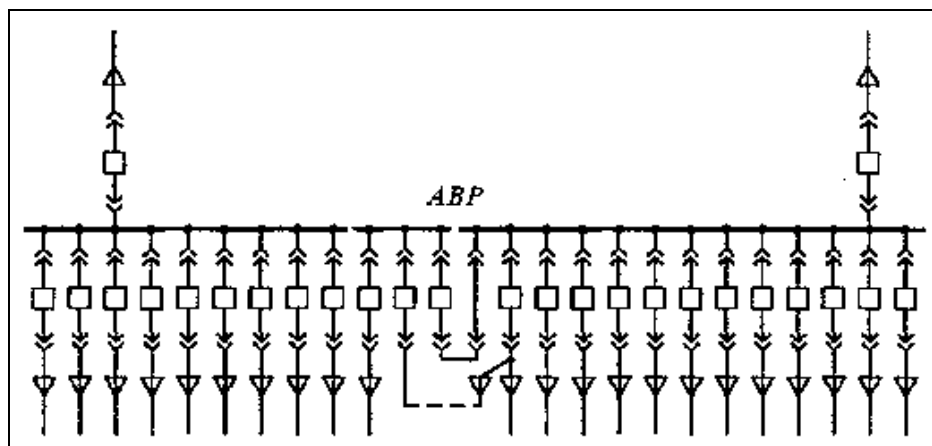


Рис. 5.7. Схема крупной распределительной подстанции с АВР на секционном выключателе с применением КРУ.

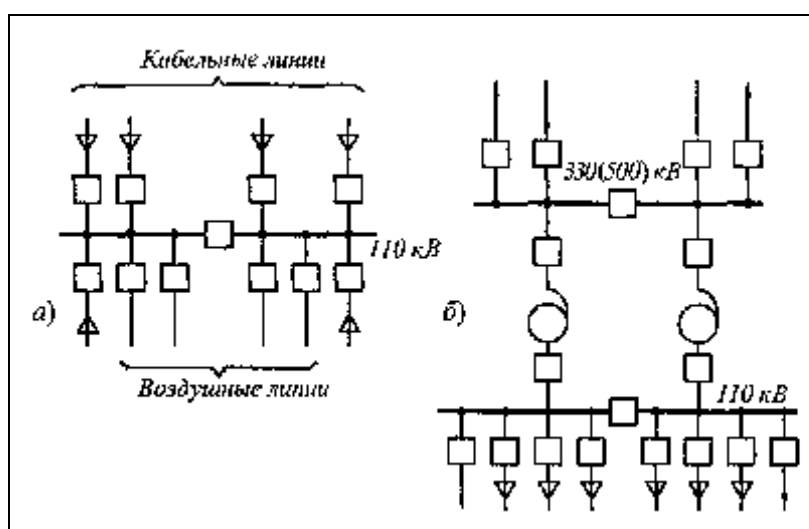


Рис. 5.8. Схемы узловых распределительных подстанций, питаемых от электрической системы: *а* - небольшой мощности, чисто распределительная; *б* - крупная со сборными шинами на первичном напряжении.

На рис. 5.8 показаны 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.5.8, б, предназначена для очень крупного предприятия. Она имеет автотрансформатор.

5.4. Схемы трансформаторных подстанций напряжением 6...10/0,4...0,66 кВ.

5.4.1. 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 (рис 5.9). При радиальном питании по схеме блока линия- трансформатор обычно применяется сухое присоединение

трансформаторов на стороне высшего напряжения (см. рис 6.9, а). При питании по магистрали на вводе к трансформатору в большинстве случаев устанавливаются выключатели нагрузки или разъединители (см.рис. 5.9, б). Если же необходимо обеспечить селективное отключение трансформатора при его повреждении или недопустимой перегрузке, то последовательно с выключателем нагрузки или разъединителем устанавливается предохранитель.

При магистральном питании ТП на вводе к трансформатору с номинальной мощностью $S_{ном.т}$ устанавливаются аппараты в следующем порядке по направлению тока:

- предохранитель и выключатель нагрузки (при $S_{ном.т}$ 630 кВ·А);
- разъединитель и предохранитель (при $S_{ном.т}$ 400 кВ·А).

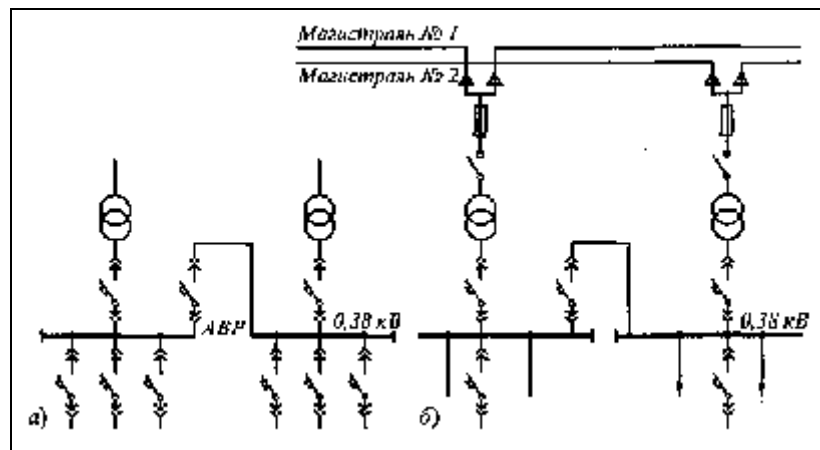


Рис. 5.9. Схемы цеховой подстанции без сборных шин напряжением 6... 10 кВ: а - при радиальном питании; б - при магистральном питании.

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. 5.9, а и б, в зависимости от схемы электроснабжения.

5.4.2. Присоединение трансформаторных подстанций к линиям напряжением 6... 10кВ для питания городских потребителей

Схемы электрических соединений однитрансформаторных подстанций с трансформатором мощностью до 630 кВ·А являются наиболее простыми и содержат минимальное число несложных коммутирующих и защитных аппаратов.

На рис. 5.10 приведены схемы электрических соединений трансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью до 400 кВ·А с кабельным вводом.

Выбор схемы подстанции определяется схемой построения распределительной сети напряжением 6...10кВ.

Подстанция, схема которой приведена на рис. 5.10, а, используется в петлевых схемах; подстанция, схема которой приведена на рис. 5.10, б, в, - при питании от одной радиальной линии, а отходящая радиальная линия питает отдельные потребители.

На рис.5.11 приведены схемы соединений двухтрансформаторных подстанций с трансформаторами мощностью до 630 кВ А каждый с кабельными вводами. Подстанция имеет одинарную систему сборных шин, которые секционированы на две

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

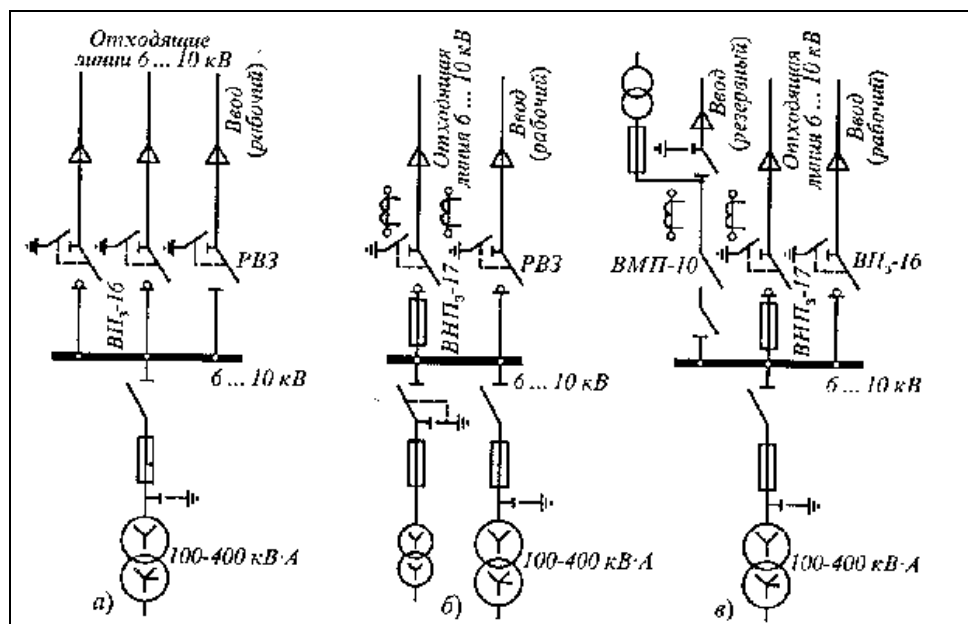


Рис. 5.10. Схемы электрических соединений подстанций с одним трансформатором мощностью до 400 кВ·А

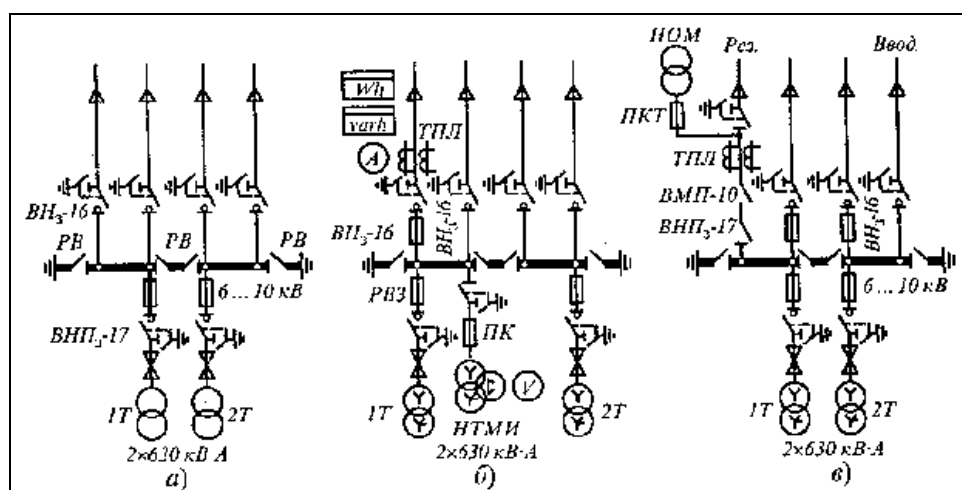


Рис. 5.11. Схемы электрических соединений подстанций с двумя трансформаторами мощностью до 630кВ·А каждый

В распределительном устройстве напряжением 6... 10 кВ устанавливаются выключатели нагрузки ВНЗ-16 и ВНЗ-17 и выключатель ВВ/TEL-10 только для резервного ввода.

В схеме, приведенной на рис. 5.11, а, отсутствуют автоматика и измерение. В схеме, приведенной на рис. 5.11, б, предусматривается коммерческий учет энергии с установкой измерительных трансформаторов (тока - ТОЛ и напряжения - НАМИ) и приборов учета: амперметра, счетчиков активной и реактивной энергии. В схеме, приведенной на рис. 5.11, в, установлен АВР на резервном вводе с выключателем ВВ/TEL-10.

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. 5.12.

При выполнении РП на напряжении до 1 кВ используют стандартные панели, на которых устанавливаются комплекты из автоматов, рубильников с предохранителями или рубильников с автоматами, иногда с контакторами. Схема панели распределительного щита с рубильниками и предохранителями РПс-2 и трансформаторами тока ТТИ- 10 дана в трехфазном изображении на рис.5.13.

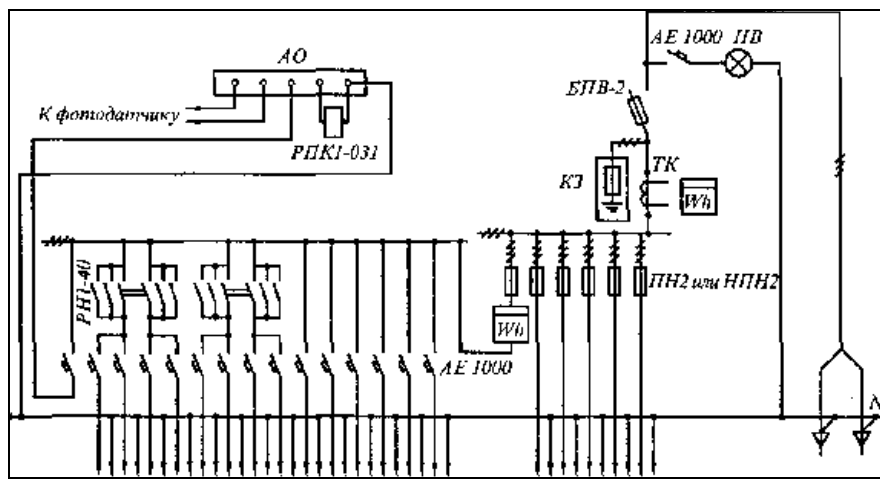


Рис. 5.12. Схема панели вводного распределительного устройства на напряжении 0,4 кВ

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 мм² 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.

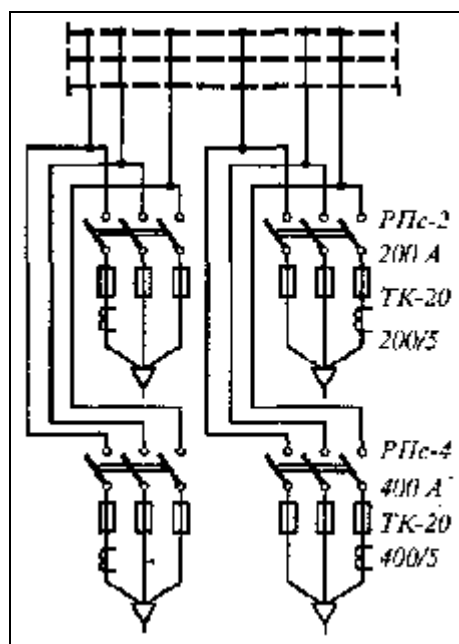


Рис. 5.13. Схема панели распределительного щита на четыре линии с рубильниками и предохранителями на напряжении 0,4 кВ

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. На основании каких положений разрабатываются схемы подстанций всех напряжений?
2. Назначение заземляющих ножей у разъединителей?
3. Чем объясняется применение в схемах трансформаторов с расщеплённой обмоткой?
4. Что позволяет схема с двумя системами сборных шин?
5. Какие схемы применяются для трансформаторных подстанций напряжением 6..10/0,4..0,66кВ ?

Тема 6

Конструктивное выполнение трансформаторных и распределительных подстанций

6.1. Принципы компоновки и размещения трансформаторных и распределительных подстанций

6.1.1. Общие сведения

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 конструкций 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.

6.1.2. 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 кВ·А 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 кВ·А 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 ею 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.

6.2. 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 выдвижными 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 выдвижными 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 изготовляют в открытом и закрытом (шкафном) исполнении.

Щиты открытого исполнения состоят из панелей, устанавливаемых в специальных электротехнических помещениях. Щиты закрытого исполнения устанавливают в шкафах и цехах промышленных предприятий.

По условиям обслуживания щиты бывают с двухсторонним обслуживанием и односторонним. Щиты с двухсторонним 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 автоматы, 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. 6.1) изготовляют 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.

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.

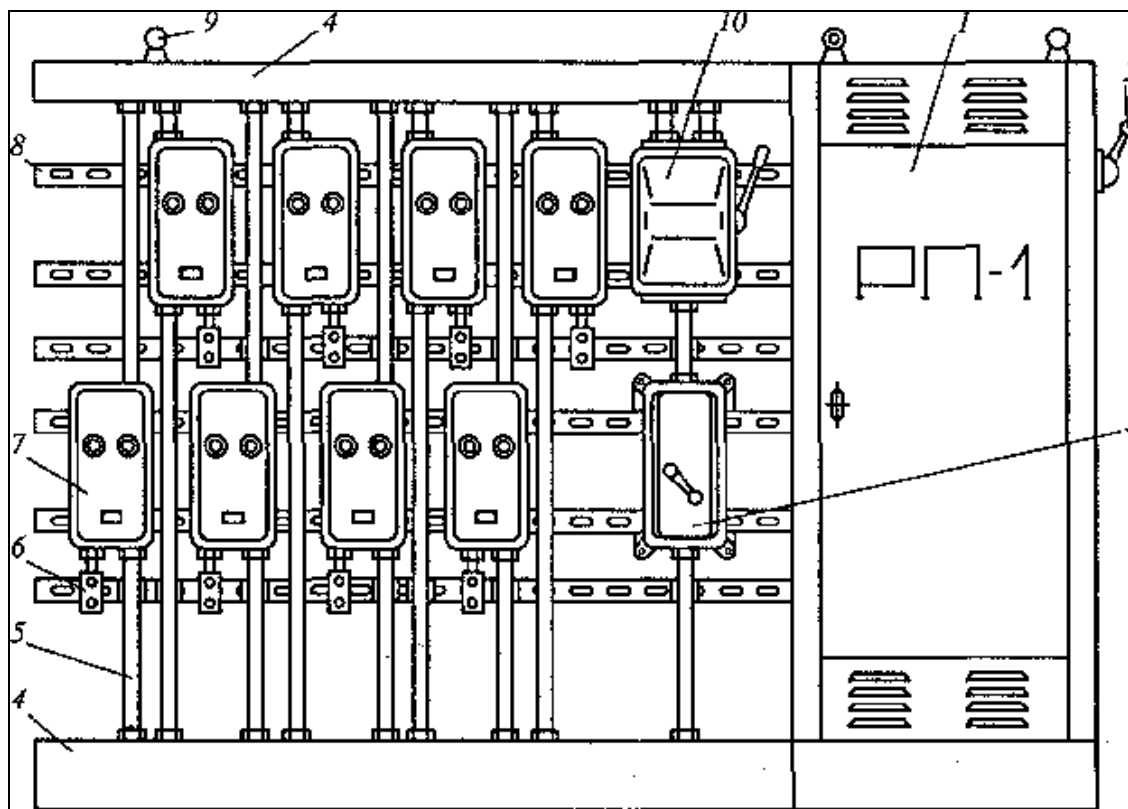


Рис. 6.1. Силовой пункт в блоке с магнитными пускателями, кнопочными станциями и ящиками: 1 - шкаф силовой; 2 - рукоятка вводного рубильника шкафа; 3 - ящик с автоматом; 4 - коробка для проводов; 5 - трубы (или коробка) для проводов силовой сети; 6 – кнопочная станция; 7 - магнитный пускатель; 8 - швеллер перфорированный; 9 - рым; 10 - ящик с рубильниками и предохранителями.

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 (см. рис. 6.12).

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 х 150 мм²; на 250 А - 4 х 95 мм²; на 200 А - 2 х 95 мм². ВРУ выполнены в защищенном исполнении. Габаритные размеры 1700 х 800 х 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 и регулирующих элементов.

Требования режимов пуска, разгона, регулирования частоты 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.

6.3. 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), 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 обозреваемость и доступность оборудования без снятия напряжения со сборных шин. Стационарные камеры КСО более просты и дешевле 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. 6.2 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.

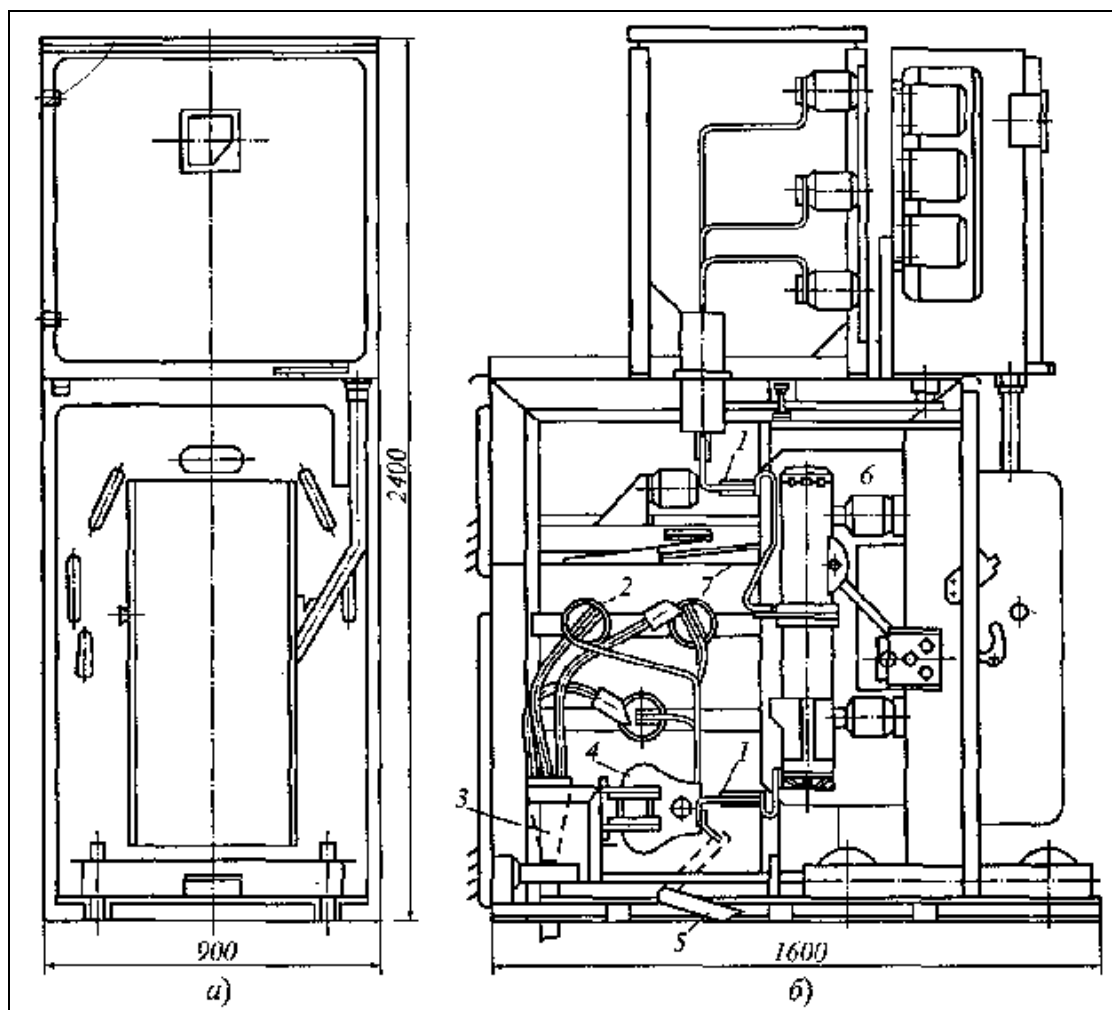


Рис. 6.2. Ячейка КРУ с выдвижным выключателем:
а — вид спереди; б - поперечный разрез.

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 (контрольное), когда тележка выдвинута настолько, что втычные разъединители разомкнуты, а контакты цепей управления еще замкнуты;

ремонтное, когда тележка находится вне камеры.

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 высоковольтный или выключатель нагрузки, или предохранители и разъединители, в нижнем - линейный разъединитель, кабельная воронка и трансформаторы тока типа ТЗЛ. 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 ВВЭ-10 или ВКЭ-10П на силу тока 630, 1000 и 1600 А.

Стационарные КРУН предназначены для ввода и секционирования в распределительных устройствах при нагрузках, превышающих силу тока 1500 А. Они комплектуются выключателями МГГ-10-3200.

6.4. 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 стесненных 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 - 0,6 м.

Естественное освещение внутренних РУ нежелательно, так как устройство окон осложняет конструкцию здания, окна требуют периодической очистки, через них может проникать пыль и тп.

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. Огражденной 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 обозреваемость 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.

В ПУЭ также нормируются наименьшие расстояния от токоведущих частей до сплошных и сетчатых ограждений, между неограженными токоведущими частями разных цепей, от неограженных токоведущих частей до отметки пола и др.

6.5. 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.

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.

6.6. Комплектные трансформаторные подстанции

6.6.1. Назначение и классификация

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 (ТМЗ, ТМФ), сухими (ТСЗ) или заполненными негорючей жидкостью (ТНЗ) 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 кВ·А, напряжением 6...35/0,4 кВ, применяемые для электроснабжения объектов сельскохозяйственного назначения. Это в основном мачтовые подстанции. КТП данной группы состоят из шкафа ввода ВН, трансформатора и шкафа НН, укомплектованного на отходящих линиях автоматическими выключателями.

2. КТП внутренней и наружной установки напряжением до 10 кВ включительно мощностью 160... 2500 кВ·А, которые в основном используются для электроснабжения промышленных предприятий. КТП этой группы состоят из шкафов ввода на напряжение 10 кВ и РУ напряжением до 1 кВ. Для КТП применяют как масляные, так и заполненные негорючей жидкостью или сухие трансформаторы специального исполнения с боковыми выводами, для КТП наружной установки - только масляные.

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 кВ·А, которые выпускаются для электроснабжения

стройплощадок, рудников, шахт, карьеров.

6.6.2. 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 (рис. 6.4).

Размещение внутрицеховых подстанций в помещениях пыльных и с химически активной средой допускается при условии принятия мер, обеспечивающих надежную работу электрооборудования.

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 кВ·А. Расстояние в свету между масляными трансформаторами должно быть не менее 10 м.

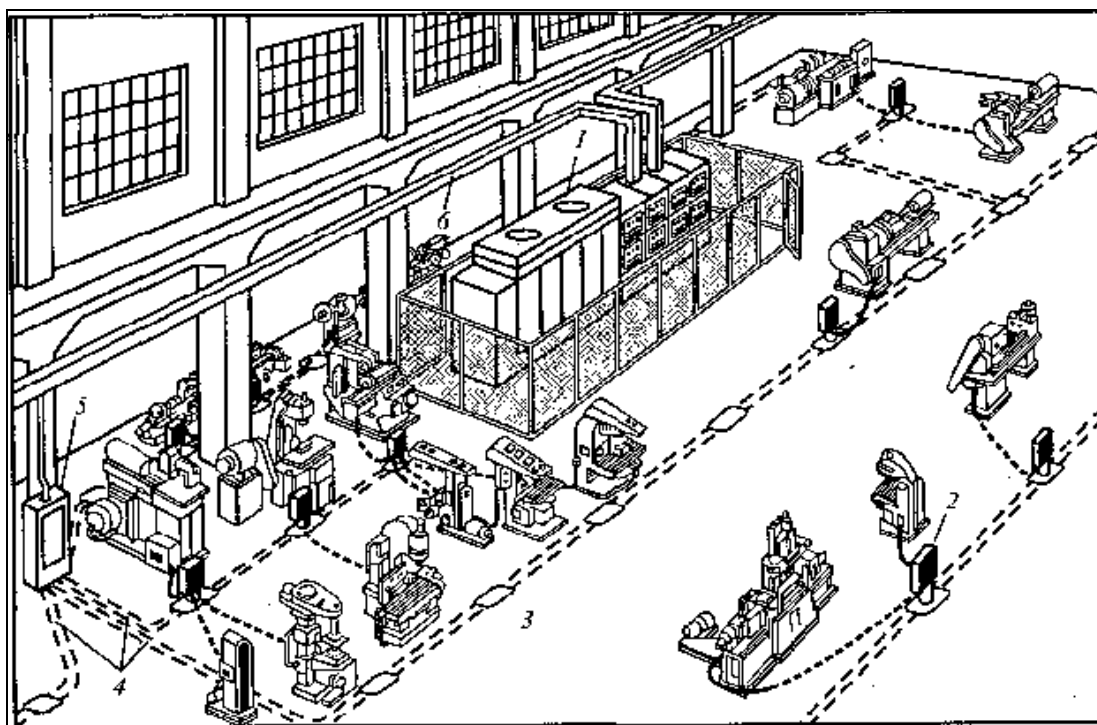


Рис. 6.4. Модульная разводка силовой электросети к электроприемникам механического цеха:

1 - комплектная трансформаторная подстанция; 2 - колонка с автоматическим выключателем; 3 - ответвительная коробка; 4 - модульная магистраль; 5 - силовой шкаф; 6 - магистральный шинопровод.

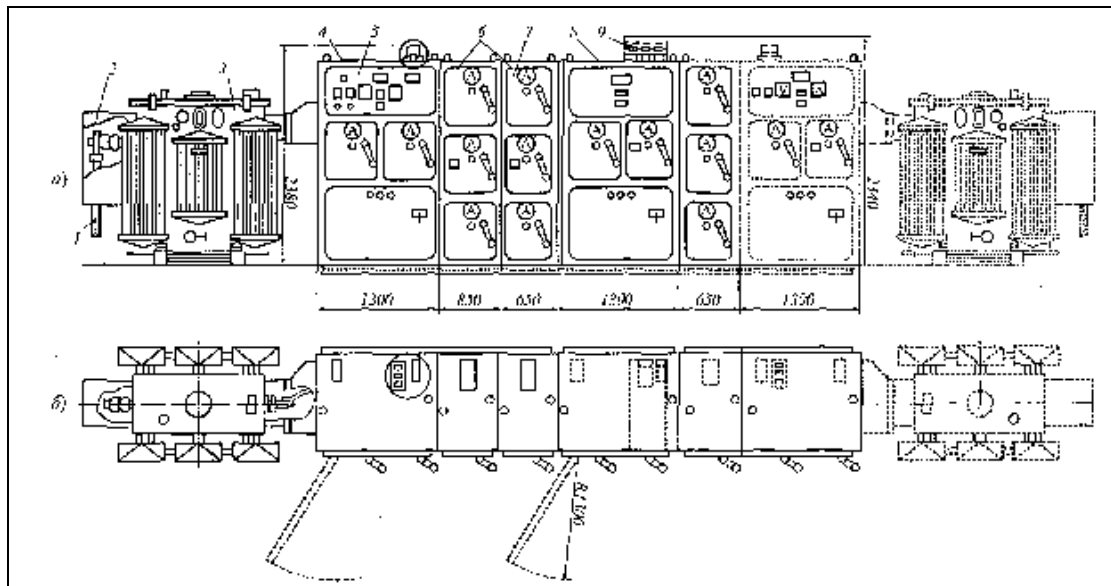


Рис. 6.5. Комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630... 1000 кВ·А для внутренней установки с однорядным расположением оборудования: а - вид спереди; б - план; 1 - кабель ВН; 2 - шкаф ввода ВН; 3- силовой трансформатор; 4 - шкаф ввода НН; 5 - отсек приборов; 6- шкаф отходящих линий НН; 7-секционный шкаф НН или шкаф отходящих линий; 8 - шинный короб; 9 - окно для вывода кабеля вверх.

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» подъемно-транспортных 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. 6.5 представлена комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630... 1000 кВ·А 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.

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 35/6...10 к В.

КТП напряжением 35/6... 10 кВ применяют для электроснабжения небольших промышленных предприятий и сельскохозяйственных районов. КТП (рис. 6.6) состоит из ОРУ напряжением 35 кВ, силового трансформатора и КРУН напряжением 6... 10 кВ наружной установки, металлического ограждения подстанции, совмещенного с контуром заземления.

Конструкция комплектной подстанции допускает возможность установки одного или двух силовых трансформаторов мощностью 630...3200кВ·А.

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.

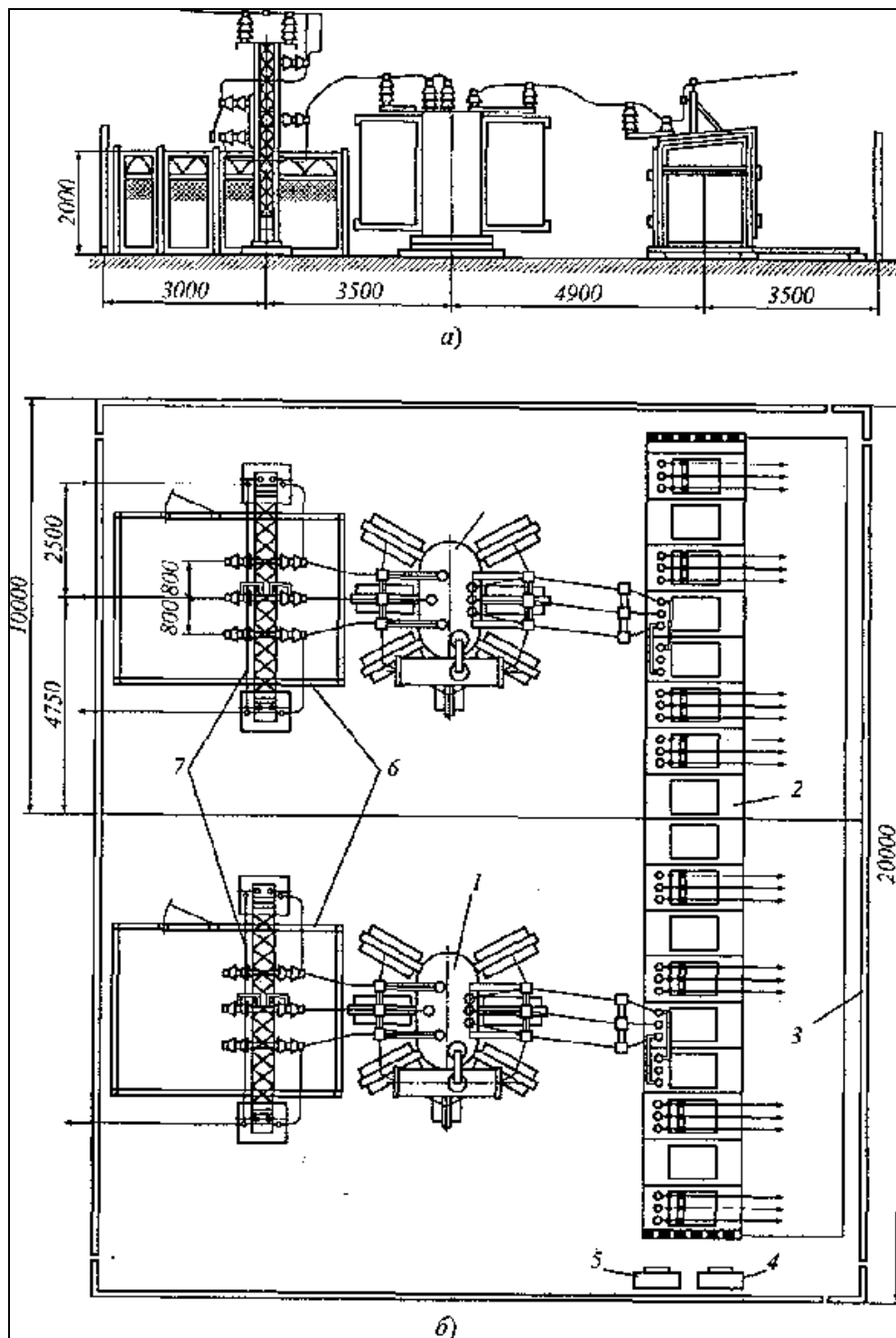


Рис. 6.6. Комплектная трансформаторная подстанция напряжением 35 кВ типа 2КТП-35/6-10П кВ с трансформаторами мощностью 3200 кВ·А: а - вид спереди; б - план: 1 - трансформатор; 2 - КРУН напряжением 6... 10 кВ; 3 - внешнее ограждение; 4 - шкаф противопожарного оборудования; 5 - шкаф инвентарный; 6 - внутреннее ограждение предохранителей; 7 - ОРУ напряжением 35 кВ.

Двухтрансформаторная подстанция представляет собой сочетание двух комплектных однострансформаторных подстанций, комплектуемых секционным шкафом напряжением 6... 10 кВ. Ввод со стороны 35 кВ выполнен как для однострансформаторной подстанции, но включает в себя два портала с линейными предохранителями, разъединителями и разрядниками.

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 110/6... 10 кВ.

КТП напряжением 110/6...10кВ (рис. 6.7) состоят из ОРУ напряжением 110 кВ, силового трансформатора 5 и КРУН 7 наружной установки напряжением 6... 10 кВ.

ОРУ напряжением 110 кВ однострансформаторной 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 тросами. 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.

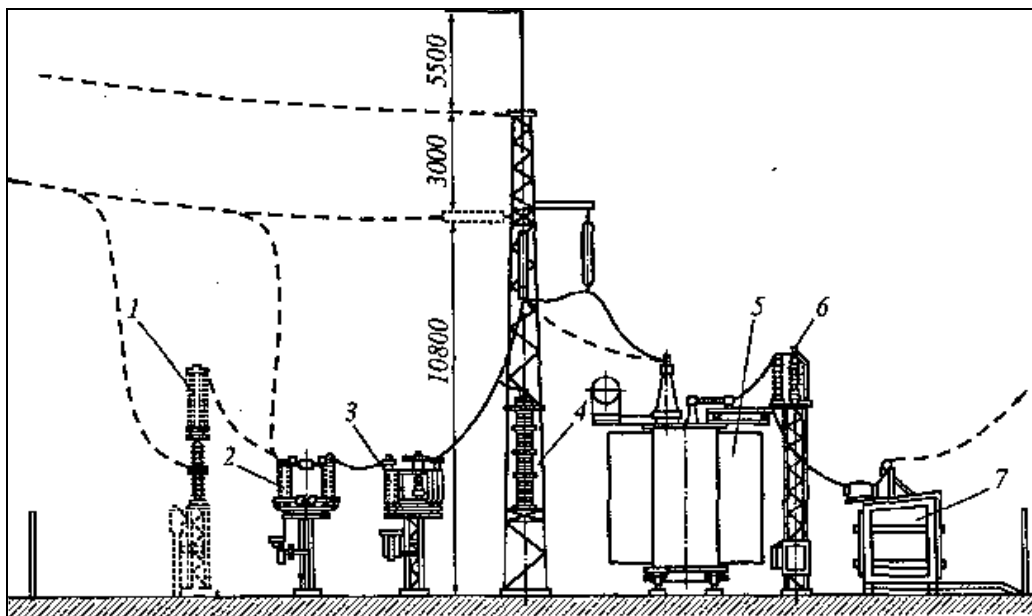


Рис. 6.7. Комплектная трансформаторная подстанция наружной установки напряжением 110/6...10 кВ ОРУ напряжением 110 кВ.

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 5м. На металлоконструкции заземляющего разъединителя устанавливается ящик с зажимами цепей управления.

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 цепей и устройств релейной защиты и автоматики является трансформатор собственных нужд.

6.7. Конструктивное исполнение распределительных подстанций напряжением 6... 10 кВ

На рис. 6.8 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.

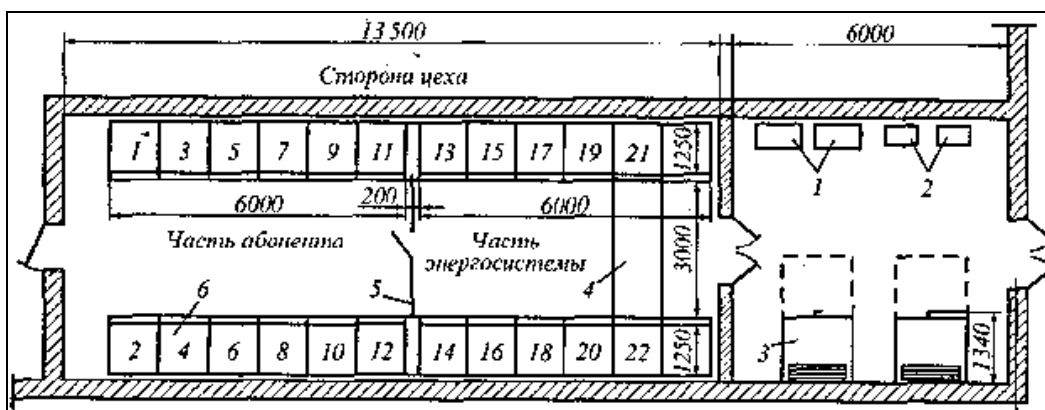


Рис. 6.8. Расположение оборудования распределительной подстанции напряжением 10 кВ при двухрядном расположении камер КСО при разделении распределительной подстанции на части абонента и энергосистемы: / - блоки питания; 2 - щитки защиты; 3 - шкаф оперативного тока типа ШУОТ; 4 - мост шинный длиной 3000 мм; 5 - ограждение сетчатое с дверью; 6 - камера типа КСО-272.

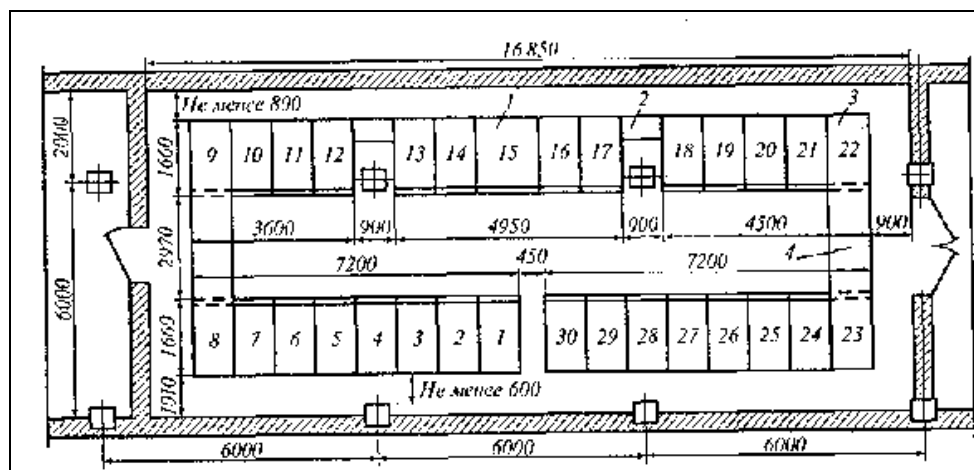


Рис. 6.9. Вариант компоновки распределительной подстанции напряжением 10 кВ в отдельном помещении между колоннами в цеху:

- 1 - шкаф КРУ размером 1350 мм; 2 - токопровод между шкафами; 3 - шкаф КРУ размером 900 мм; 4 - токопровод между секциями КРУ.

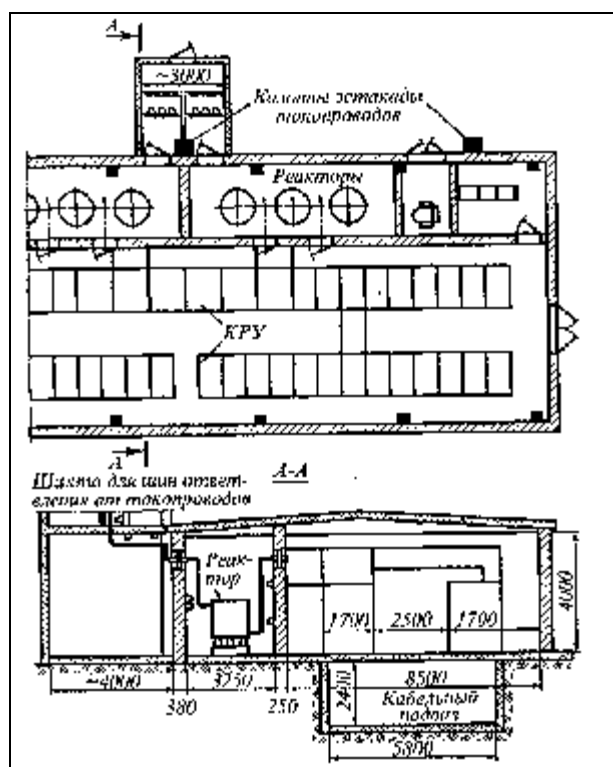


Рис. 6.10. Компоновка распределительной подстанции с выкатными КРУ и реакторами с подводом питания через специальную шахту от гибких токопроводов.

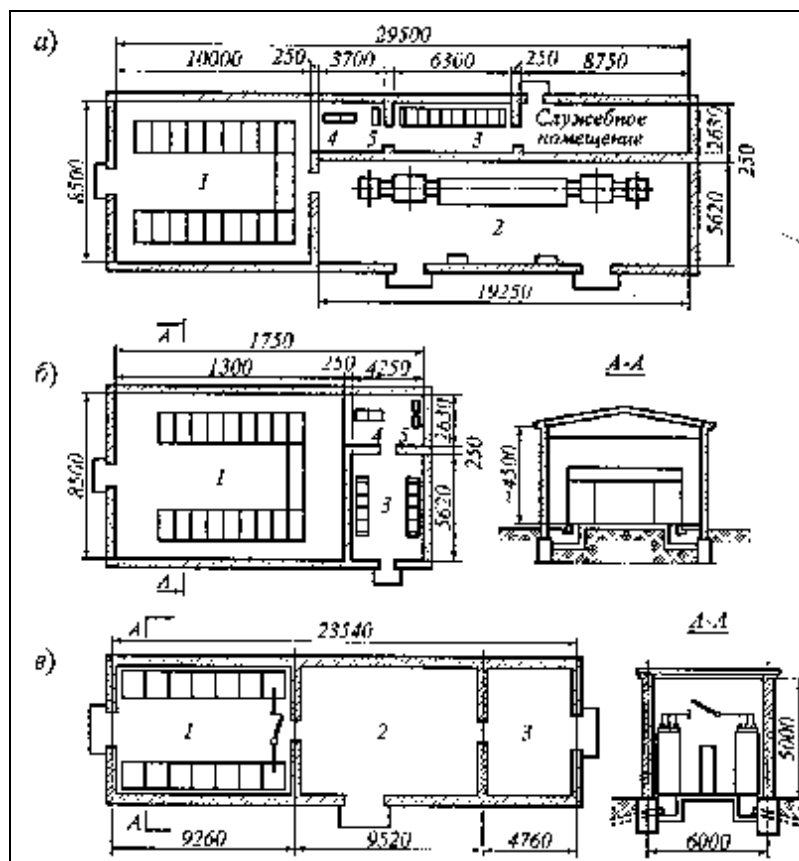


Рис. 6.11. Выполнение распределительных подстанций напряжением 6... 10 кВ: а - отдельно стоящая РП с камерами КРУ, совмещенная с КТП и комплектной конденсаторной установкой (ККУ); б - отдельно стоящая РП с камерами КРУ, совмещенная с ККУ; в- отдельно стоящая РП с камерами КСО, совмещенная с КТП и ККУ; 1 - камеры КРУ или КСО; 2 - КТП; 3 - ККУ; 4 - электропитание приводов; 5 - вводное устройство силового питания.

На рис. 6.9 приведена компоновка распределительной подстанции при размещении в отдельном помещении между колоннами в цеху.

На рис. 6.10 показана компоновка распределительной подстанции с выкатными КРУ с подводом питания через специальную шахту и с установкой в специальных ячейках токоограничивающих реакторов.

На рис. 6.11 показано несколько примеров выполнения распределительных подстанций, некоторые из которых совмещены с трансформаторными подстанциями. Компоновки РП предусматривают также возможность размещения в них конденсаторных установок (УК).

6.8. 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.

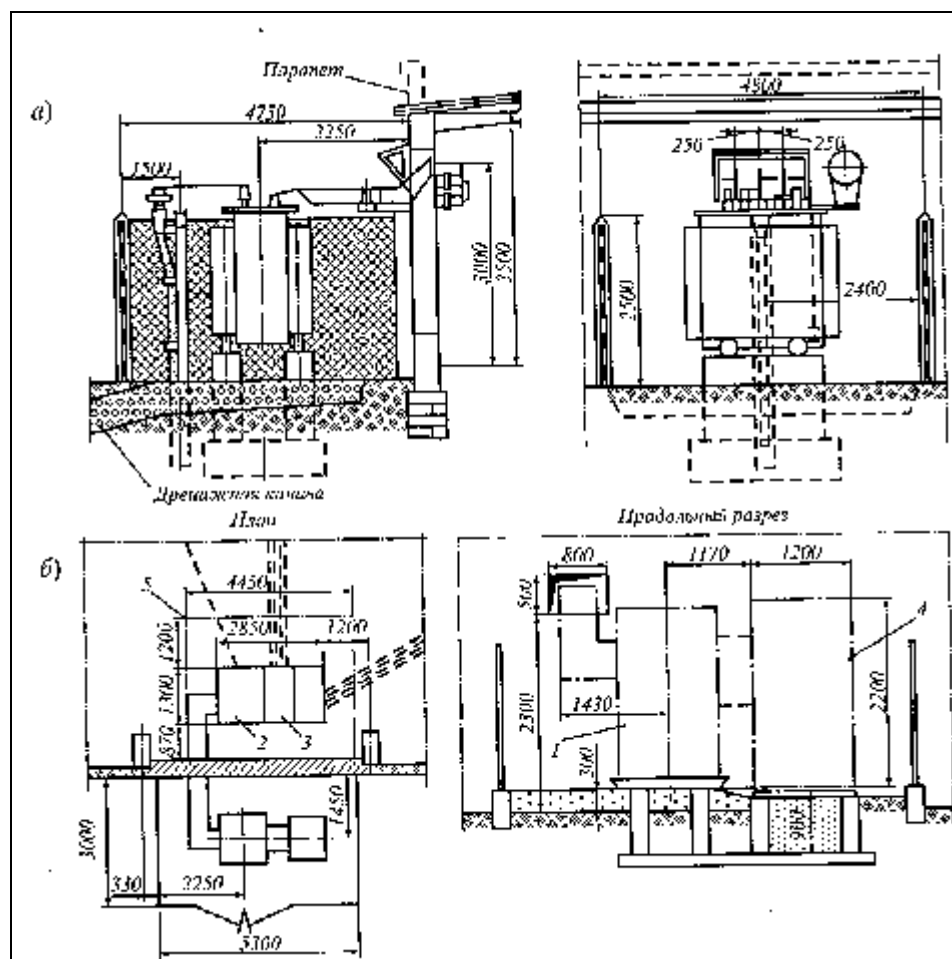


Рис. 6.12. Открытая установка трансформаторов возле цеха: а - цеховая подстанция с открыто установленным трансформатором мощностью 1000 кВ·А; б - цеховая однотрансформаторная КТП с наружной установкой трансформатора мощностью 630 кВ·А; 1 - трансформатор; 2 - шкаф ввода напряжением до 1 кВ; 3 - шкаф отходящих линий; 4 — шкаф ввода напряжением выше 1 кВ с выключателем нагрузки; 5 - зона обслуживания.

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. 6.12, а показана цеховая подстанция с открытой установкой трансформатора мощностью 1000 кВ·А возле цеха и с размещением распределительного щита напряжением до 1 кВ непосредственно в цехе. На рис. 6.12, б показана установка однотрансформаторной 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.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Привести классификацию подстанций.
2. Нарисовать примерный план двухтрансформаторной ГПП с трансформацией напряжения со 110кВ на 6кВ.
3. Устройство комплектной трансформаторной подстанции.
4. Что собой представляет ячейка КРУ?
5. Что собой представляет ячейка КСО?
6. Основное отличие ячеек КРУ от ячеек КСО?
7. Назначение блокировок в ячейках КРУ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройств электроустановок. 6-е издание. Дополненное с исправлениями. – М.: ЗАО "Энергосервис", 2000. – 608 с
2. В.А. Боровиков. Электрические сети и системы.- Л.: Изд-во Энергия, 1968. - 430
3. Л.А. Солдаткина. Электрические сети и системы.- М.: Изд-во Энергия, 1978. - 217
4. Г.Н. Ополева .Проектирование систем электроснабжения. Издательство Иркутского государственного университета.2004.-251
5. А.И. Панфилов. Настольная книга энергетика. - М.: Энергосервис, 2004-650.
6. Б. Ю. Липкин "Электроснабжение промышленных предприятий и установок". Учебник для техникумов. - М., "Высш. школа", 1975.- 360 с.
7. Л.Л. Коновалова, Л. Д. Рожкова "Электроснабжение промышленных предприятий и установок". – М.: Высшая школа, 1980г.
8. И.П. Крючков, Б. Н. Неклепаев "Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.- 608 с.
9. Ю.Г. Барыбин Справочник по проектированию электроснабжения – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
10. В.А. Гольцстрем "Справочник энергетика промышленных предприятий". – М.: Энергия, 1979. – 490 с.
11. И.Л. Каганов "Курсовое и дипломное проектирование" – М., Колос, 1980 г.
12. В.И. Крупович "Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования" - М.: Энергоиздат, 1981.
13. Техническая информация ОАО "ЭЛЕКТРОЦИТ", издание 3-е, Москва.
14. Справочник "Новое электрооборудование в системах электроснабжения".
15. А.А. Васильев "Электрическая часть станций и подстанций", Москва, 1990
16. М.Г. Зименков "Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий" - М.: Энергоатомиздат, 1983.