

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

Составитель: ст. преподаватель Колосова И.В.

ст. преподаватель Ярошевич Т.М.

Перечень материалов

I. Теоретический раздел

1. Краткий конспект лекций по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

II. Практический раздел

2.1 Практические занятия.

2.2 Примерный перечень задач.

2.3 Темы лабораторных занятий.

2.4 Лабораторные работы.

III. Контроль знаний

3.1 Экзаменационные вопросы по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

3.2 Вопросы к зачету по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

IV. Вспомогательный раздел

4.1 Учебная программа учреждения высшего образования по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика».

Пояснительная записка

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) разработан в соответствии с образовательным стандартом ОСВО 1-43 01 05-2017 для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» в соответствии со статьей 94 кодекса Республики Беларусь об образовании и определяет структуру учебно-методического комплекса, порядок его создания на уровне высшего образования в учреждениях высшего образования.

Надежное и экономичное обеспечение электрической энергией требуемого качества любого производственного объекта является одним из основных условий его нормального функционирования.

Современное производство с высокой степенью механизации и автоматизации технологических процессов, а также инновационное электрооборудование, применяемое в системах промышленного электроснабжения, предъявляют высокие требования к качеству подготовки специалистов для работы в области теплоэнергетики.

Дисциплина «Электроснабжение промышленных предприятий» включает в себя вопросы, относящиеся к проектированию и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий и является профилирующим предметом в высших учебных заведениях при подготовке инженеров-теплоэнергетиков по специализации 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика».

Излагаемый в ЭУМК материал учитывает требования действующих нормативных и руководящих документов, современные методы расчетов, применяемые при разработке проектов и в процессе эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий.

Цели ЭУМК. Овладение знаниями для рационального проектирования и эффективного использования систем электроснабжения промышленных предприятий и инженерными методами их расчета, для студентов, обучающихся по очной и заочной формам получения образования по специальности «Промышленная теплоэнергетика».

Повышение качества образования путем систематизации теоретических знаний и практических умений за счет научно-методического обеспечения, основанного на результатах фундаментальных и прикладных научных исследований; обеспечение студента полным комплектом учебных и учебно-методических материалов, позволяющим в большей степени самостоятельно овладевать знаниями (особенно это важно для студентов-заочников).

ЭУМК по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» выполнен в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 7.83-2001 "Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения", введенного в действие на территории Республики Беларусь постановлением Комитета по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь от 22 августа 2002 г. N 37.

В ЭУМК объединяются структурные элементы научно-методического обеспечения образования. Научно-методическое обеспечение образования осуществляется в целях обеспечения получения образования, повышения его качества и основывается на результатах фундаментальных и прикладных научных исследований в сфере образования.

ЭУМК предназначен для реализации требований образовательных программ и образовательных стандартов высшего образования и создается по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

Структурными элементами научно-методического обеспечения являются:

- учебная программа по учебной дисциплине;
- учебно-методическая документация;
- учебные издания.

Учебно-методический комплекс включает в себя:

Теоретический раздел ЭУМК, который содержит краткий конспект лекций по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» в объеме, установленном типовым учебным планом по специальности.

Практический раздел ЭУМК состоит из материалов для проведения лабораторных работ, примерный перечень задач по дисциплине для практических занятий. Теоретические лекционные занятия чередуются с практическими и лабораторными работами, а также с самостоятельной работой студентов при выполнении ими расчетно-графической работы (раздел дипломного проекта). Преподаватель на занятиях отвечает на вопросы студентов.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы текущей и итоговой аттестации, перечень контрольных вопросов, выносимых на экзамены и зачеты по вышеуказанной дисциплине. Оценка знаний на экзаменах и защите дипломного проекта осуществляется по десятибальной шкале.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит учебную программу дисциплины с перечнем основной и дополнительной литературы и учебно-методических материалов, рекомендуемых для изучения учебной дисциплины.

Рекомендации по организации работы с УМК (ЭУМК): Материалы данного электронного учебно-методического комплекса можно использовать при выполнении дипломного проекта.

Полученные знания при изучении данного электронного учебно-методического комплекса предназначены для формирования научного мышления и профессиональной ответственности инженеров теплоэнергетического профиля, которые должны явиться основой приобретения умения проектировать, осуществлять надежную эксплуатацию систем электроснабжения промышленных предприятий.

Для просмотра ЭУМК требуется установленная на компьютер пользователя программа просмотра pdf-файлов.

Рекомендуется изучать теоретические материалы в соответствии с темами практических и лабораторных занятий. Для решения задач использовать учебно-методические пособия, размещенные в репозиторий БНТУ.

По мере поступления новых материалов ЭУМК может быть доукомплектован в рабочем порядке, после установленных правилами согласований.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....	9
1. ВВЕДЕНИЕ	
1.1 Цели и задачи дисциплины.....	9
2. ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	12
2.1. Приемники и потребители электроэнергии.....	12
2.2. Определение электрических нагрузок.....	24
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ.....	30
3.1. Электрические аппараты напряжением до 1 кВ.....	30
3.2. Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ.....	38
3.3. Измерительные трансформаторы тока и напряжения.....	40
4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ.....	46
4.1. Трансформаторная подстанция и режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ.....	46
4.2. Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ.....	51
5. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ.....	58
5.1. Принципы построения защиты электроприемников.....	58
5.2. Выбор сечений проводников.....	62
6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 кВ.....	69
6.1. Источник питания электроэнергией.....	69
6.2. Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ.....	71
6.3. Схемы внутриводского электроснабжения.....	..73
7. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ.....	80
7.1. Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах.....	80
8. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКЦИЯ МОЩНОСТИ.....	82
8.1. Потребители реактивной мощности.....	82
8.2. Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ.....	87
9. УЧЕТ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	89
9.1. Учет электроэнергии и пути ее экономии.....	89
РАЗДЕЛ II. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	98
2.1. Темы практических занятий.....	98
2.2. Примерный перечень задач.....	98

2.3. Темы лабораторных занятий.....	102
2.4. Лабораторные работы.....	103
РАЗДЕЛ III. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ, ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕН ЗАДАЧ.....	198
3.1. Вопросы к экзамену.....	198
3.2. Вопросы к зачету.....	200
РАЗДЕЛ IV. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ» ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1 – 43 01 05 «ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА».....	203

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ
электронного учебно-методического комплекса
**по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ»**
для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

РАЗДЕЛ I. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Цели и задачи дисциплины

Электроэнергетическая (электрическая) система — это электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии.

Под энергетической системой понимается совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии и теплоты при общем управлении этим режимом.

Электрическая станция — это установка или группа установок для производства электроэнергии или электрической и тепловой энергии.

Электрической сетью называется совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящая из подстанций, линий электропередачи, токопроводов, аппаратуры присоединения, защиты и управления.

Подстанция — это электроустановка для приема, преобразования и распределения электроэнергии.

Под линией электропередачи понимается устройство, предназначенное для передачи и распределения или только для передачи электроэнергии на расстояние.

Электроустановками называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии. Система электроснабжения является подсистемой электроэнергетической системы и одновременно составной частью электрического хозяйства предприятия, организации.

Система электроснабжения (СЭС) - это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией. Типовая структура СЭС промышленного предприятия при питании от электроэнергетической системы (ЭЭС) показана на рисунке 1.1. СЭС включают в себя трансформаторные и преобразовательные подстанции, распределительные пункты (РП), воздушные и кабельные линии электропередачи, токопроводы напряжением 6-35 кВ, а также собственные генерирующие источники.

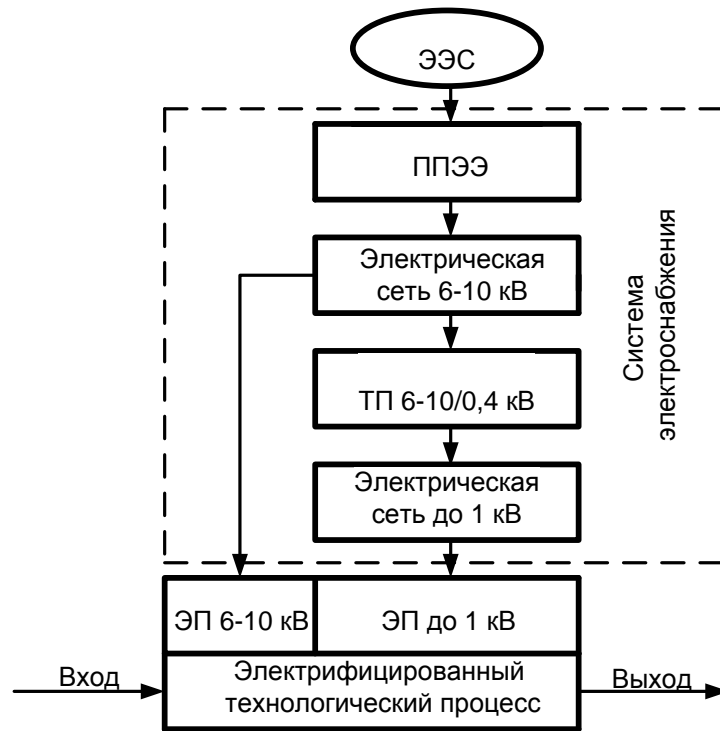


Рисунок 1.1 – Обобщенная структура СЭС производственного объекта при питании от электроэнергетической системы:

ППЭЭ – пункт приема электрической энергии; ЭП – электроприемники;

ТП – трансформаторная подстанция

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо учитывать следующие особенности:

1. Электроэнергия на промышленных предприятиях рассматривается как один из компонентов производственного процесса.

2. Электроэнергия потребляется на разных напряжениях в виде переменного трехфазного и однофазного тока промышленной, пониженной, повышенной или высокой частоты, а также в виде постоянного тока.

3. В непосредственной близости от электрооборудования находится определенное количество производственного персонала, не имеющего электротехнического образования.

4. Промышленные электроприемники отличаются большим разнообразием.

5. В СЭС промышленных объектов используются специальные автоматические устройства.

6. Плотность нагрузки разных потребителей электроэнергии значительно различается, что приводит к большому разнообразию схемных и конструктивных решений в СЭС.

7. Промышленные электроприемники переменного тока, наряду с активной мощностью, как правило, потребляют значительное количество реактивной мощности.

8. На промышленных предприятиях имеются электроприемники с нелинейными вольтамперными характеристиками.

9. Необходимо обеспечивать совместимость электрооборудования с окружающей средой.

10. На промышленных предприятиях электроэнергия потребляется в основном на напряжении до 1 кВ.

11. Промышленные предприятия могут иметь собственные электростанции.

12. Система электроснабжения является подсистемой технологической системы производства конкретного предприятия и одновременно является подсистемой энергосистемы.

Перечисленные особенности СЭС промышленных предприятий придают конкретной системе характерные черты схемных и конструктивных решений.

К системам электроснабжения предъявляются следующие основные требования:

1. *Экономичность.* СЭС должна иметь минимальные затраты на сооружение, монтаж и эксплуатацию.

2. *Надежность.* Степень бесперебойности электроснабжения электроприемников предприятия должна соответствовать установленным нормативам.

3. *Безопасность.* Системы электроснабжения не должны создавать опасности для людей.

4. *Экологичность.* СЭС не должны оказывать неблагоприятных воздействий на окружающую среду.

5. *Удобство эксплуатации и управления.* Системы электроснабжения должны быть приспособлены к управлению в разных режимах функционирования.

6. *Обеспечение электромагнитной совместимости.* Все элементы СЭС и электроприемники электрифицированного производственного процесса не должны оказывать друг на друга вредных воздействий.

7. *Гибкость.* При изменении технологического цеховые электрические сети должны быть приспособлены к быстрому перестроению.

8. *Возможность развития во времени.* Должна быть предусмотрена возможность расширения электроустановок СЭС.

9. *Эстетичность.* При проектировании и сооружении СЭС следует учитывать требования технической эстетики.

2. ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

2.1 Приемники и потребители электроэнергии

Приемник электрической энергии – устройство, в котором происходит преобразование электрической энергии в другие виды энергии для ее использования (осветительные лампы, двигатели и т. д.).

Приемник электрической энергии или группа приемников электрической энергии, связанных технологическим процессом и размещенных на определенной территории, называется потребителем электрической энергии (станок, цех, завод и т. д.).

Приемники или потребители электроэнергии в практике электроснабжения удобно классифицировать по следующим признакам:

- по надежности электроснабжения;
- по величине номинальной мощности;
- по роду тока;
- по частоте тока;
- по напряжению;
- по количеству фаз;
- по режиму работы;
- по характеру преобразования электроэнергии;
- по стабильности расположения.

1. По степени надежности электроснабжения электроприемники делятся на следующие три категории:

– электроприемники I категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей (например, система вентиляции кислотного цеха, операционная), значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. Приемники электроэнергии I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания может быть допущен лишь на время автоматического включения резерва.

Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования (например, непрерывная работа насоса по циркуляции воды необходима для охлаждения стенок сталеплавильной печи, средства пожаротушения). Для электроснабжения особой группы приемников электроэнергии I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. Независимым источником питания приемника электроэнергии или группы приемников электроэнергии

называют источник питания, на котором сохраняется напряжение в пределах, регламентированных ПУЭ для послеаварийного режима, при исчезновении его на другом или других источниках питания этих приемников.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы приемников электроэнергии и в качестве второго независимого источника питания для остальных приемников I категории используют местные электростанции, электростанции энергосистем, специальные агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п. Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить необходимую непрерывность технологического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, осуществляют технологическое резервирование.

– электроприемники II 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. Приемники электроэнергии II категории обеспечивают электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для приемников электроэнергии II категории при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

– электроприемники III категории – все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий. Это приемники вспомогательных цехов, несерийного производства продукции и т. п. Для приемников электроэнергии III категории электроснабжение выполняют от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

2. По величине номинальной мощности электроприемники можно разделить на три группы:

- малой мощности – единицы киловатт;
- средней мощности – десятки киловатт;
- большой мощности – сотни киловатт.

3. По роду тока различают электроприемники переменного и постоянного тока. Приемники постоянного тока получают электроэнергию от преобразователей, которые в расчетах электроснабжения и электрооборудования рассматриваются как электроприемники трехфазного переменного тока.

4. По напряжению классифицируют следующим образом:

- до 1 кВ и выше 1 кВ – переменный ток.
- до 1,5 кВ и выше 1,5 кВ – постоянный ток.

Номинальное напряжение электроприемника определяет величину его мощности. Мощные электрические двигатели используются для привода насосных, компрессорных агрегатов.

Большинство электроприемников промышленных предприятий работает на напряжении до 1 кВ, в основном в системе напряжения 230/400 В.

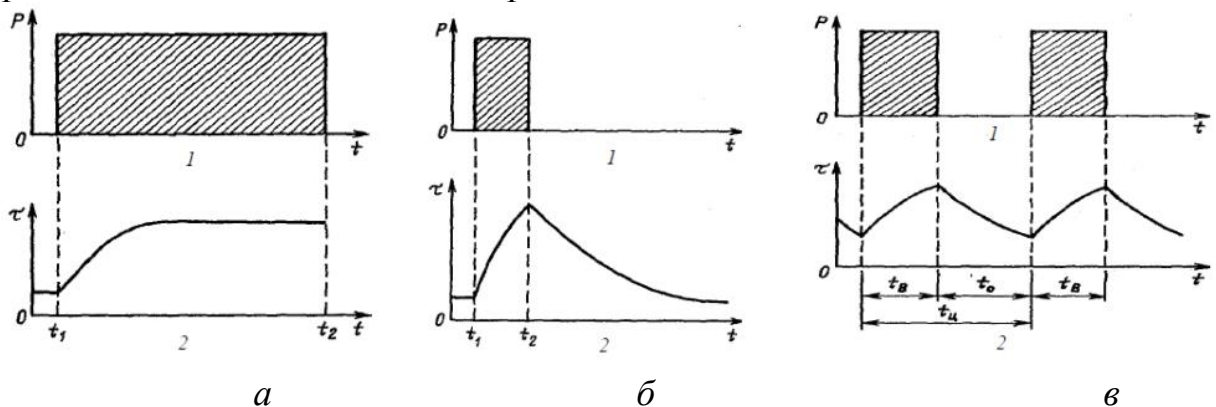
5. По количеству фаз различают одно – и трехфазные электроприемники. На напряжении выше 1кВ электроприемники, как правило, выполняются трехфазными, так как большой мощности. Электроприемники на напряжении до 1 кВ могут быть как трехфазными, так и однофазными, рассчитанными на фазное или межфазное напряжение.

6. По режиму работы при расчете электрооборудования и электроснабжения у электроприемников принимается:

– продолжительный режим работы электроприемника соответствует номинальной неизменной нагрузке, продолжающейся столь долго, что температура τ его частей достигает установившихся значений (рисунок 1.2, а). Установившейся температурой считается температура, изменение которой в течение 1 ч не превышает 1°C ;

– кратковременный режим работы электроприемника (рисунок 1.2, б) характеризуется тем, что он работает при номинальной мощности в течение времени, за которое его температура не успевает достичь установившейся. При отключении электроприемник длительно не работает, и его температура снижается до температуры окружающей среды;

– повторно-кратковременный режим работы электроприемника – режим, при котором кратковременные рабочие периоды номинальной нагрузки чередуются с паузами (рисунок 1.2, в). Продолжительность рабочих периодов и пауз не настолько велика, чтобы перегревы отдельных частей электро- приемника при неизменной температуре окружающей среды могли достигнуть установившихся значений. При повторно-кратковременном режиме работы электроприемник можно сильнее нагружать, чем при продолжительном номинальном режиме.



а – продолжительный режим работы электроприемника;

б – кратковременный режим работы электроприемника;

в – повторно-кратковременный режим работы электроприемника

Рисунок 1.2 - Графики нагрузки (1) и изменения температуры нагрева частей электроприемника (2) при различных режимах работы

7. По характеру преобразования электроэнергии электроприемники подразделяются на электроприводы, электротехнологические установки, цифровые технические системы.

8. По стабильности расположения на производственной площади различают электроприемники с относительно постоянным (например, насосы, вентиляторы, компрессоры, электротехнологические установки и т.п.) и нестабильным расположением оборудования.

Графики электрических нагрузок. Кривые, отражающие изменение во времени активной (P) и реактивной (Q) мощности и тока (I) называются графиками нагрузок по активной мощности, реактивной мощности и по току.

В условиях эксплуатации СЭС графики представляют, как правило, в виде осредненных значений электрической нагрузки на последовательных интервалах времени одинаковой продолжительности (обычно 0,5 или 1 ч) за период реализации T . При использовании показаний счетчиков электроэнергии осредненная за некоторый i -й интервал времени активная нагрузка определяется по формуле

$$P_i = \frac{W_i - W_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} = \frac{\Delta W_i}{\Delta t_i},$$

где W_i и W_{i-1} – расход электроэнергии в конце и в начале i -го измерения, кВт·ч;

ΔW_i - расход электроэнергии за i -е измерение, кВт·ч;

t_i и t_{i-1} - время окончания и начала измерения, ч;

Δt_i - длительность интервала осреднения мощности, ч.

Средняя за время Δt_i реактивная нагрузка вычисляется по аналогичному выражению

$$Q_i = \frac{\Delta V_i}{\Delta t_i},$$

где ΔV_i - расход реактивной электроэнергии за i -е измерение, квар·ч.

Графически нагрузки представляют в виде ступенчатой кривой (рисунок 1.3).

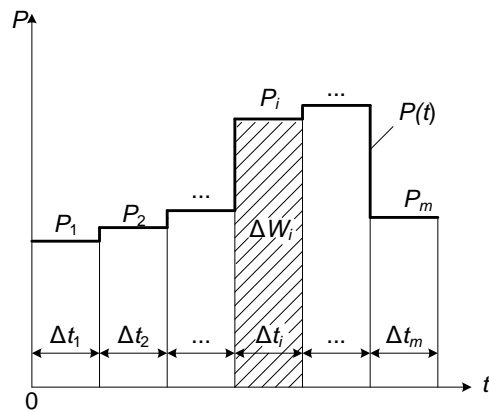


Рисунок 1.3- График активной нагрузки в виде ступенчатой функции

Как правило, при построении графиков принимается $\Delta t = const$ (рисунок 1.6). В этом случае

$$T = m \Delta t ,$$

а количество ступеней графика определяется по выражению

$$m = \frac{T}{\Delta t} .$$

Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок. График электрической нагрузки по активной мощности в определенном масштабе отражает расход электроэнергии W за некоторый период реализации T .

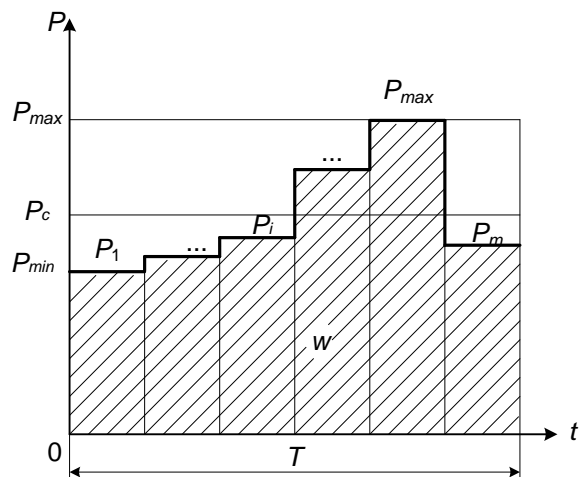


Рисунок 1.4 – График электрической нагрузки по активной мощности

Графики электрических нагрузок характеризуются максимальной и минимальной активной и реактивной нагрузкой (мощностью) P_{max} и P_{min} , Q_{max} и Q_{min} при определенном интервале осреднения Δt , средней активной и реактивной мощностью P_c и Q_c .

Средние активная (P_c) и реактивная (Q_c) нагрузки за период T определяются по следующим выражениям:

$$P_c = \frac{W}{T} ; \quad (1.1)$$

$$Q_c = \frac{V}{T} , \quad (1.2)$$

где W и V - соответственно расход активной и реактивной энергии за время T .

При расчете электрических нагрузок и исследованиях электропотребления применяются коэффициенты максимума, заполнения, формы и неравномерности графика нагрузки.

Коэффициент максимума активной мощности представляет собой отношение максимума активной нагрузки P_{\max} к среднему значению нагрузки P_c за период реализации:

$$K_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_c} .$$

Коэффициент максимума по реактивной мощности можно найти по аналогичному выражению:

$$K_{\max p} = \frac{Q_{\max}}{Q_c} ,$$

где Q_{\max} - максимальная потребляемая реактивная мощность за рассматриваемый период;

Q_c - средняя реактивная нагрузка за то же время.

Коэффициент заполнения графика по активной мощности можно определить по соотношению

$$K_3 = \frac{W}{P_{\max} \cdot T} . \quad (1.3)$$

Из формулы (1.1) получим значение расхода электроэнергии за период реализации графика

$$W = P_c \cdot T. \quad (1.4)$$

С учетом (1.4) формулу (1.3) запишем в следующем виде:

$$K_3 = \frac{P_c}{P_{\max}} .$$

Аналогично находится коэффициент заполнения графика нагрузки по реактивной мощности:

$$K_{\text{зр}} = \frac{Q_{\text{с}}}{Q_{\text{маx}}}.$$

Коэффициент формы графика активной мощности вычисляется по выражению

$$K_{\phi} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{с}}}, \quad (1.5)$$

где $P_{\text{ск}}$ - среднеквадратическая активная мощность нагрузки за период реализации графика, определяемая по формуле:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^m \Delta t_i}},$$

где P_i - средняя активная мощность на i -й ступени графика нагрузки;
 Δt_i - длительность интервала осреднения мощности на i -й ступени графика нагрузки;

m – количество ступеней графика нагрузки.

При одинаковых интервалах осреднения мощности Δt

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2}{m}}. \quad (1.6)$$

Значение P_i определяется по выражению

$$P_i = \frac{\Delta W_i}{\Delta t}.$$

Подставив найденное значение P_i в выражение (1.6), получим

$$P_{\text{ск}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta W_i^2}}{\Delta t \sqrt{m}}. \quad (1.7)$$

Средняя активная мощность за период реализации графика $T = m\Delta t$ вычисляется по формуле (1.1)

$$P_{\text{с}} = \frac{W}{T} = \frac{W}{m\Delta t}.$$

Подставив полученные выражения P_c и $P_{ск}$ из (1.7) в формулу (1.5), найдем коэффициент формы графика нагрузок по активной мощности

$$K_{\phi} = \sqrt{m} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta W_i^2}}{W}. \quad (1.8)$$

Коэффициент формы графика реактивной нагрузки определяется как

$$K_{\phi p} = \frac{Q_{ск}}{Q_c},$$

где $Q_{ск}$ - среднеквадратическая реактивная мощность нагрузки за рассматриваемый период.

Значение $Q_{ск}$ находится по выражению

$$Q_{ск} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m Q_i^2}{m}},$$

где Q_i – средняя реактивная мощность на i -й ступени графика нагрузки.

Если известны расходы реактивной электроэнергии V_i на каждой ступени графика, то в этом случае

$$Q_{ск} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta V_i^2}}{\Delta t \sqrt{m}}, \quad (1.9)$$

а коэффициент формы графика нагрузок по реактивной мощности

$$K_{\phi p} = \sqrt{m} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta V_i^2}}{V}, \quad (1.10)$$

где V -суммарный расход реактивной энергии за период реализации графика.

С помощью коэффициентов формы можно найти среднеквадратическую активную и реактивную мощность по выражениям

$$P_{ск} = K_{\phi} P_c, \quad (1.11)$$

$$Q_{ск} = K_{\phi p} Q_c. \quad (1.12)$$

Выражения (1.11) и (1.12) с учетом формул (1.1), (1.2), (1.8) и (1.10) представим в следующем виде:

$$P_{\text{ск}} = \frac{\sqrt{m}}{T} \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta W_i^2};$$

$$Q_{\text{ск}} = \frac{\sqrt{m}}{T} \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta V_i^2}.$$

Коэффициент неравномерности графика нагрузки по активной мощности представляет собой отношение минимальной активной мощности к максимальной за время реализации графика

$$K_{\text{нг}} = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}}.$$

Для графика нагрузки по реактивной мощности коэффициент неравномерности определяется аналогично:

$$K_{\text{нгр}} = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{max}}}.$$

Индивидуальные графики используются при определении нагрузок и исследовании электропотребления отдельных мощных электроприемников. Они строятся для каждого законченного цикла для наиболее загруженной смены. Цикл характеризуется количеством потребляемой электроэнергии $w_{\text{ц}}$ и длительностью

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{р}} + t_{\text{о}},$$

где $t_{\text{р}}$ и $t_{\text{о}}$ – соответственно время работы и паузы (останова).

Индивидуальные графики нагрузок по степени регулярности делятся на следующие виды:

- периодические;
- циклические;
- нециклические;
- нерегулярные.

В качестве примера на рисунке 1.5 приведен периодический индивидуальный график нагрузки.

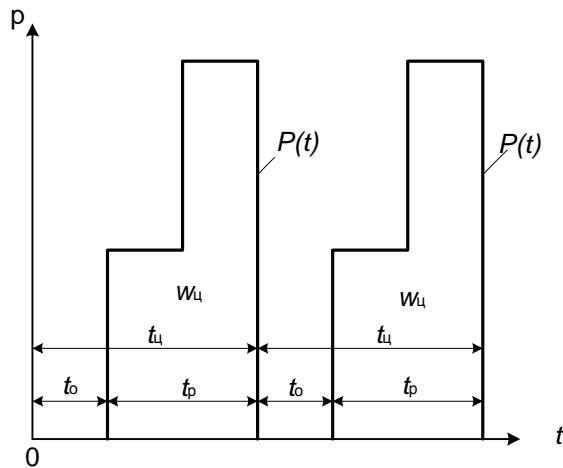


Рисунок 1.5 – Периодический индивидуальный график

Представление о стабильности индивидуальных графиков дают некоторые их показатели, приведенные в таблице 1.1.

Таблица 1.1- Показатели индивидуальных графиков

Тип графика	t_p	t_0	$t_{ц}$	$w_{ц}$
периодический	<i>const</i>	<i>const</i>	<i>const</i>	<i>const</i>
циклический	<i>const</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>const</i>
нециклический	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>const</i>
нерегулярный	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>

Периодический график характеризует автоматизированное или поточное производство, отдельные технологические операции которого строго регламентированы.

Циклический график соответствует производственному процессу, при котором периодичность нарушается в основном по причине непостоянства пауз отдельных циклов.

Нециклический график характерен для производства, при котором отдельные выполняемые агрегатом повторяющиеся технологические операции строго не регламентированы.

Нерегулярный график представляет производственный процесс, отдельные технологические операции которого носят случайный характер.

Групповые графики нагрузок. По степени регулярности групповые графики подразделяются на три типа: периодические, почти периодические и нерегулярные.

По продолжительности различают суточные и годовые графики нагрузок потребителей электроэнергии.

Суточные графики действующих предприятий отражают изменение нагрузки потребителя в течение суток, начиная с 0 до 24 ч.

На рисунке 1.6 для примера показаны суточные графики электрических нагрузок двухсменного промышленного предприятия по активной и реактивной мощности.

Годовые графики потребления активной и реактивной электроэнергии бывают двух видов: упорядоченные (по продолжительности) и по месяцам.

Годовые упорядоченные графики (рисунок 1.7) строятся по убывающим ординатам активной и реактивной мощности в течение года.

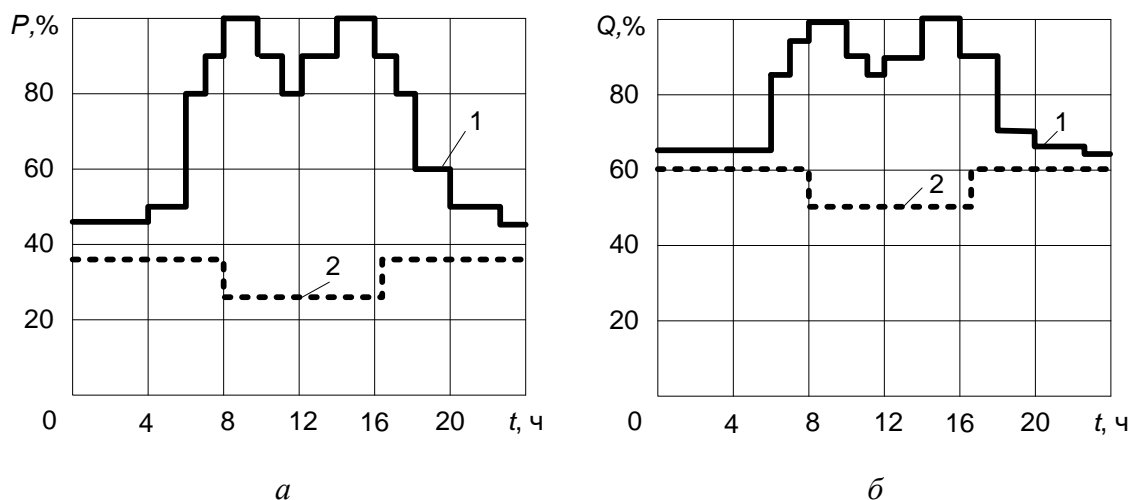


Рисунок 1.6-Суточные графики нагрузки по активной (а) и реактивной (б) мощности двухсменного промышленного предприятия
1-нагрузка в рабочие сутки; 2-нагрузка в выходные сутки

По годовому упорядоченному графику (рисунок 1.8) можно определить годовой расход электроэнергии $W_{\text{г}}$, среднегодовую мощность $P_{\text{ср}}$, длительность каждой нагрузки и годовое время использования максимальной нагрузки T_{max} .

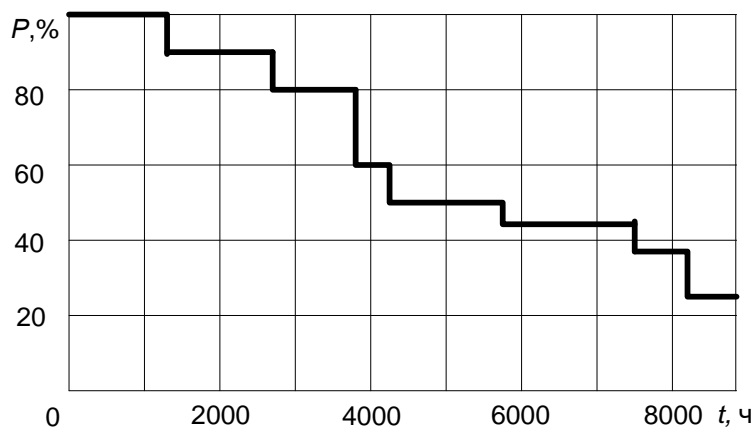


Рисунок 1.7-Годовой график нагрузки по продолжительности

Среднегодовая мощность $P_{\text{ср}}$ вычисляется по выражению

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{8760}.$$

Значение T_{\max} определяется по формуле

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}}.$$

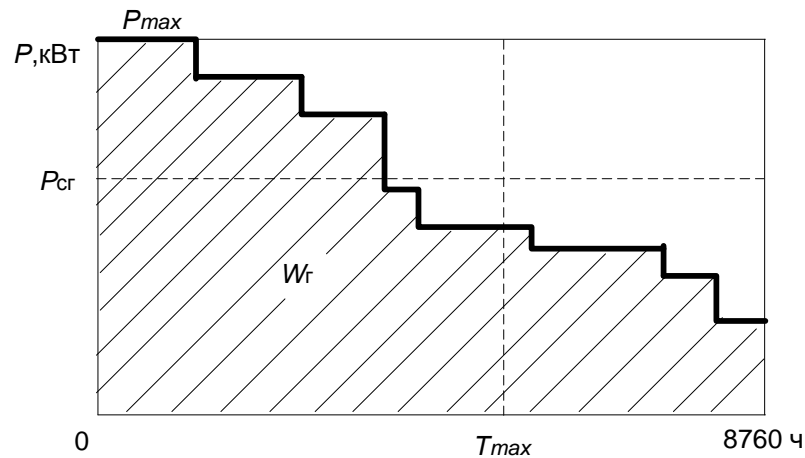


Рисунок 1.8-Определение времени использования максимума нагрузки по годовому графику по продолжительности

Графики по месяцам, характеризующие сезонность работы предприятия, показывают потребление электроэнергии (в процентах к максимальному месячному расходу) в течение года, начиная с января и заканчивая декабрем (рисунок 1.9).

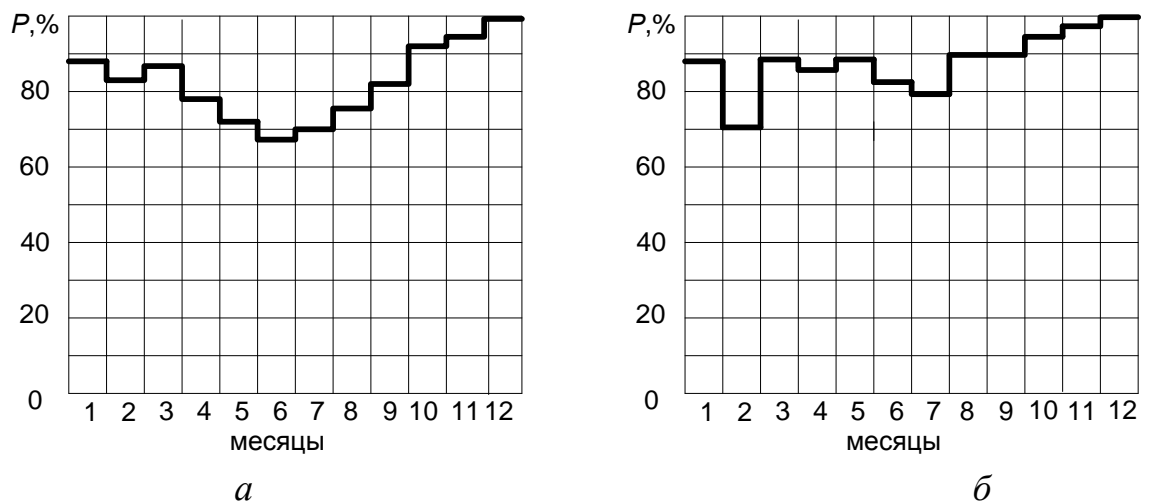


Рисунок 1.9-Годовые графики расхода электроэнергии:
а- предприятие машиностроения; б – предприятие химической промышленности

Регулирование графиков электрических нагрузок промышленных предприятий осуществляется с целью снижения электропотребления в период максимальных нагрузок энергосистемы.

На промышленных предприятиях применяются следующие способы регулирования графика нагрузки:

1.Изменение графика работы тех электроприемников, которые без значительного ущерба можно перевести на работу вне часов максимальных нагрузок энергосистемы.

2.Выявление и изменение режима электропотребления потребителей-регуляторов, которые могут допустить произвольно заданные по числу и длительности перерывы в работе или систематические, ежесуточные перерывы на несколько часов, или изменение интенсивности своей работы.

3.Широкое применение заделов производства, запасов материалов и промежуточной продукции.

4.Увеличение производительности некоторых технологических агрегатов, работа их в форсированном режиме вне часов максимума нагрузки энергосистемы.

5.Временное ограничение производительности части производственного оборудования в период больших нагрузок энергосистемы.

6.Отключение вспомогательного оборудования и проведение профилактического технического обслуживания в часы максимума энергосистемы.

7.Изменение режима работы энергоемких агрегатов в течение суток.

8.Поочередная загрузка, пуск и остановка однотипных энергоемких агрегатов в часы максимума нагрузки энергосистемы.

9.Выполнение капитальных и средних ремонтов основного производственного оборудования предприятия в зимний период.

10.Смещение времени начала и перерывов в работе отдельных структурных подразделений предприятия.

Тема 2.2. Определение электрических нагрузок

При определении электрических нагрузок используются такие понятия, как номинальная мощность, средняя мощность, расчетная и пиковая нагрузки электроприемников.

Номинальная (установленная) мощность одного электроприемника (ЭП) – мощность, обозначенная на заводской табличке или указанная в его паспорте.

Номинальная мощность для любого электроприемника - это такая мощность, при которой в нормальном режиме работы его нагрев не превышает допустимого.

В качестве номинальной мощности для электродвигателей принимается мощность, указанная в паспорте, а для остальных токоприемников мощность, потребляемая им из сети (электрические печи, осветительные установки и т.п.).

Групповая номинальная (установленная) активная мощность - понимают суммарную номинальную активную мощность электроприемников

$$P_{уст} = \sum_{i=1}^n P_{iном},$$

где $p_{i\text{НОМ}}$ – номинальная активная мощность i – го электроприемника группы, кВт;

n – число электроприемников в группе.

Номинальная реактивная мощность – это реактивная мощность, потребляемая из сети или отдаваемая в сеть при номинальной активной мощности и номинальном напряжении, а для синхронных электродвигателей – при номинальном токе возбуждения.

Групповая номинальная реактивная мощность – суммарная номинальная реактивная мощность электроприемников

$$Q_{\text{НОМ}} = \sum_{i=1}^n q_{i\text{НОМ}},$$

где $q_{i\text{НОМ}}$ – номинальная реактивная мощность i – го электроприемника группы, квар.

Номинальная полная мощность ЭП $S_{\text{НОМ}}$ или группы электроприемников $S_{\text{НОМ}}$ определяется по следующим выражениям:

$$S_{\text{НОМ}} = \sqrt{p_{\text{НОМ}}^2 + q_{\text{НОМ}}^2}; \quad S_{\text{НОМ}} = \sqrt{P_{\text{НОМ}}^2 + Q_{\text{НОМ}}^2}.$$

Номинальный ток ЭП или электрооборудования – это ток, который при нормированной температуре окружающей среды может протекать неограниченно длительное время и при этом температура его наиболее нагретых частей не превышает длительно допустимых значений.

Номинальный ток трехфазного электродвигателя принимается по паспортным данным или рассчитывается по следующей формуле:

$$i_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\phi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}}};$$

где $p_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$\cos\phi$ – номинальный коэффициент мощности электродвигателя;

$\eta_{\text{НОМ}}$ – номинальный коэффициент полезного действия электродвигателя (КПД).

Номинальный ток группы трехфазных ЭП номинальный ток рассчитывается по формуле

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}.$$

Средняя мощность – постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени, которая вызывает такой же

расход электроэнергии, что и реальная, изменяющаяся нагрузка за этот же промежуток времени T (год, сутки, наиболее загруженная смена):

$$P_c = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt; \quad Q_c = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t) dt$$

На практике средняя нагрузка определяется по показателям электрических счетчиков, либо других приборов, с помощью формул:

$$P_c = \frac{W}{T}, \quad Q_c = \frac{V}{T},$$

где – количество израсходованной активной и реактивной электроэнергии за время T .

Расчетные нагрузки служат для выбора сечений токоведущих элементов, электрических аппаратов, числа и мощности силовых трансформаторов, преобразовательных и компенсирующих устройств, расчета защиты, вычисления потерь мощности, энергии и напряжения, а также других параметров системы электроснабжения.

Расчетная активная P_p , реактивная Q_p и полная мощность S_p – это мощности, соответствующие такой неизменной токовой нагрузке I_p , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

Пиковая нагрузка – это максимальная кратковременная нагрузка длительностью 1 – 2 с, которая периодически возникает при пусках электродвигателей, работе электросварочного оборудования, дуговых печей и других электроприемников с резко переменными нагрузками.

При расчетах электрооборудования и систем электроснабжения применяется ряд безразмерных коэффициентов, позволяющих представить режимы электропотребления и графики электрических нагрузок электроприемников. К ним относятся коэффициенты использования, включения, загрузки, максимума и спроса.

-Коэффициент использования

Коэффициент использования – представляет собой отношение средней мощности ЭП (или группы ЭП) к номинальной мощности ЭП (или группы ЭП) за некоторый период.

$$K_{и} = \frac{P_c}{P_{ном}}$$

Для группы электроприемников определяется средневзвешенное значение коэффициента использования, если электроприемники имеют разный режим работы:

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{И}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}i}},$$

где – $k_{\text{И}i}$ коэффициент использования i – го ЭП группы.

-Коэффициент включения:

$$K_{\text{В}} = \frac{t_{\text{В}}}{t_{\text{В}} + t_{\text{О}} + t_{\text{ХХ}}} = \frac{t_{\text{В}}}{t_{\text{Ц}}},$$

где $t_{\text{В}}$ – время включения и работы электроприёмников;

$t_{\text{О}}$ – время отключения электроприёмника;

$t_{\text{ХХ}}$ – время работы в режиме холостого хода.

Для групповых графиков коэффициент включения определяется, как средневзвешенное значение коэффициентов включения входящих в группу электроприёмников:

$$K_{\text{В}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{В}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}i}},$$

где – $k_{\text{В}i}$ коэффициент включения i – го ЭП группы.

Коэффициент включения характеризует использование электроприемников по времени.

-Коэффициент загрузки

$$K_{\text{З}} = \frac{P_{\text{СВ}}}{P_{\text{НОМ}}},$$

$P_{\text{СВ}}$ - средняя мощность электроприемников за время включения в течение цикла $P_{\text{СВ}} = \frac{t_{\text{Ц}}}{t_{\text{В}}} \cdot P_{\text{С}}$;

$$K_{\text{З}} = \frac{t_{\text{Ц}} \cdot P_{\text{С}}}{t_{\text{В}} \cdot P_{\text{НОМ}}} = \frac{t_{\text{Ц}}}{t_{\text{В}}} \cdot K_{\text{И}} = \frac{K_{\text{И}}}{K_{\text{В}}} \Rightarrow K_{\text{З}} = \frac{K_{\text{И}}}{K_{\text{В}}}.$$

-Коэффициент максимума графика:

$$K_{\text{М}} = \frac{P_{\text{М}}}{P_{\text{С}}},$$

где $P_{\text{М}} (P_{\text{max}})$ — максимальная потребляемая активная нагрузка за рассматриваемый период.

Коэффициент максимума относится к групповым графикам нагрузки и устанавливает связь между средней и максимальной нагрузками за наиболее загруженную смену, т.е. $P_c = P_{см}$.

При проектировании систем электроснабжения используется коэффициент расчётной нагрузки:

$$K_p = \frac{P_p}{K_p \cdot P_{уст}}$$

где P_p – расчетная нагрузка, представляет собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

Коэффициент расчётной нагрузки определяется по справочной литературе.

-Коэффициент спроса

Коэффициент спроса – это отношение максимально потребляемой мощности (в условиях эксплуатации) или расчетной активной нагрузки (при проектировании) к номинальной мощности электроприемника или группы электроприемников за рассматриваемый период.

$$K_c = \frac{P_m}{P_{ном}} = \frac{P_p}{P_{ном}};$$

$$K_c = \frac{K_m \cdot P_c}{P_{ном}} = \frac{K_m \cdot K_{и} \cdot P_{ном}}{P_{ном}} = K_m \cdot K_{и};$$

$$K_c = K_m \cdot K_{и};$$

$$K_c \leq 1.$$

Если $K_m = 1$, то $K_c = K_{и}$.

Основные методы определения расчетных электрических нагрузок, применяемые в настоящее время в практике проектирования промышленных предприятий, следующие:

1) Метод коэффициента расчетной нагрузки.

С помощью коэффициента расчетной мощности электрическая нагрузка электроприемников напряжением до 1 кВ производится для каждого узла питания (распределительного пункта, шкафа, сборки, распределительного шинпровода, щита станций управления, троллея, магистрального шинпровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом. Узлы питания группируются исходя из территориального расположения ЭП (по участкам, отделениям, цехам).

По коэффициенту расчетной мощности расчётная активная нагрузка группы силовых электроприёмников ($n > 1$) определяется по выражению

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n k_{иi} \cdot P_{номi},$$

где K_p — коэффициент расчетной мощности;
 $k_{иi}$ - среднее значение коэффициента использования i -го электроприемника;
 $P_{номi}$ - номинальная мощность i -го электроприемника;
 n - число электроприемников в группе (исключая резервные ЭП и приемники, работающие в кратковременном режиме).

2) Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса.

По данному методу расчетная активная нагрузка группы однородных по режиму работы электроприемников, объединенных технологическим процессом, определяется из выражения

$$P_p = K_c \cdot P_{ном},$$

где K_c — коэффициент спроса, характерный для электроприемников группы;

$P_{ном}$ - установленная мощность электроприемников.

3) Определение расчетной нагрузки по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции

Для силовых электроприемников, имеющих неизменные или мало изменяющиеся графики индивидуальной и групповой нагрузки, расчетная нагрузка P_p принимается равной средней P_c за рассматриваемый период. К таким электроприемникам относятся электродвигатели насосов, вентиляторов, компрессоров, поточно-транспортных систем, печи сопротивления, электролизные установки, большинство электроприемников химической и бумажной промышленности и т.п.

Согласно данному методу расчетная активная нагрузка определяется по формуле

$$P_p = \frac{w_y \cdot \Pi_t}{t},$$

где w_y - удельный расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, кВт·ч/ед. прод.;

Π_t — заданный (планируемый) объем выпуска продукции за время t .

Средние значения w_y для различных видов продукции содержатся в справочной литературе.

4) Определение расчетной нагрузки по удельной мощности на единицу производственной площади

Зная намеченную технологическим проектом площадь объекта F , м², и значения удельных плотностей нагрузок p_y , кВт/м², характерные для аналогичных действующих предприятий, можно найти его расчетную активную нагрузку (кВт) как

$$P_p = p_y \cdot F.$$

5) Определение расчетной нагрузки статистическим методом

Данный метод используется при оценке и анализе электропотребления действующих предприятий, так как требует определенной статистической информации. При наличии предприятий аналогов его можно использовать при предпроектных разработках заданий на проектирование производственных объектов. Расчетная активная нагрузка группы электроприемников статистическим методом определяется с использованием двух интегральных показателей: средней нагрузки P_c за время T и среднеквадратического отклонения σ . Для ее нахождения используется следующее выражение:

$$P_p = P_c + \beta \cdot \sigma,$$

где β - принятая кратность меры рассеяния случайной величины.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

3.1. Электрические аппараты напряжением до 1 кВ

Контакторы – это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений основных силовых электрических цепей до 1000 В при нормальных режимах работы. В зависимости от рода привода различают контакторы:

- 1) электромагнитные, контактная схема которых приводится в действие при помощи электромагнита;
- 2) пневматические, контактная схема которых приводится в действие при помощи сжатого воздуха;
- 3) гидравлические, контактная схема которых приводится в действие при помощи жидкости.

Электромагнитные контакторы получили наибольшее распространение и являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного электропривода.

Магнитная система (привод) контактора может по роду тока отличаться от тока главных контактов. Например, она может быть постоянного тока у контакторов переменного тока промышленной частоты или постоянного тока у контакторов на повышенную частоту. По характеру размыкания цепи различают контакторы линейные, которые осуществляют замыкание и размыкание различных элементов цепей, и контакторы ускорения, которые служат для переключения ступеней пускового реостата.

Контакторы состоят из системы главных контактов, дугогасительной и электромагнитной систем и вспомогательных контактов. В контакторах

ускорения с выдержкой времени имеется ещё устройство для создания этой выдержки.

Главные контакты осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи. Они должны быть рассчитаны на длительное протекание номинального тока и большое число включений и отключений при большой частоте. В зависимости от нормального положения главных контактов различают контакторы с замыкающими, размыкающими и смешанными контактами. Нормальным считают положение контактов, когда втягивающая катушка контактора не находится под напряжением и освобождены все имеющиеся механические защелки.

Главные контакты могут быть рычажного или мостикового типа. Рычажные контакты предполагают поворотную подвижную систему, мостиковые – прямоходовую. Принцип действия контакторов заключается в следующем: при подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительная система обеспечивает быстрое гашение дуги. Вспомогательный блок-контакт используется для согласования работы контактора с другими аппаратами. Наибольшее распространение для гашения дуги в контакторах постоянного тока получил способ электромагнитного дутья (рисунок 3.1).

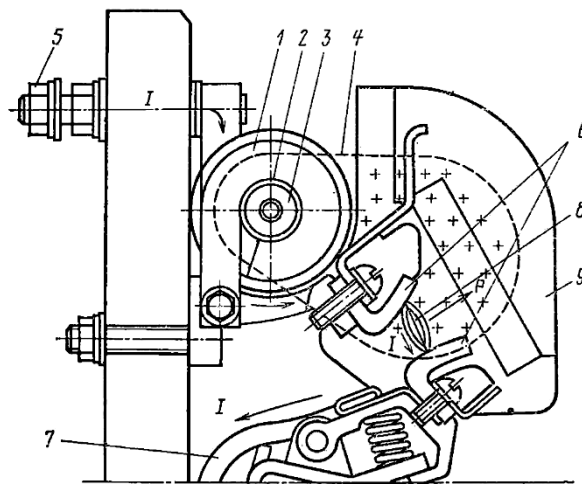


Рисунок 3.1. - Принцип электромагнитного дутья

Сущность способа электромагнитного дутья заключается в следующем: электрическая дуга, возникающая между размыкающими контактами и представляющая собой поток заряженных частиц, перемещается под действием магнитного поля, создаваемого электромагнитной дугогасительной катушкой 1, питаемой отключаемым током. Внутри катушки размещен сердечник 3, соединенный с ферромагнитными полюсами в виде пластин 4. Между катушкой и сердечником размещается изоляционный цилиндр 2. При протекании тока по катушке создается магнитное поле. Ток протекает от входного контакта 5 по катушке 1, замкнутым контактам 6 и гибкой связи 7 ко второму выходному контакту аппарата. При размыкании контактов 6 между

ними возникает вначале жидкий металлический мостик, а затем электрическая дуга 8. Под действием магнитного поля катушки возникает сила P , которая перемещает дугу в керамическую камеру 9. Опорные точки дуги быстро перемещаются на скобу, соединенную с неподвижным контактом, и на защитный рог подвижного контакта. В результате увеличения длины дуги и её интенсивного охлаждения за счет быстрого движения в воздухе сопротивление дуги резко возрастает, что ведет к быстрой деионизации дугового промежутка и гашению дуги. В значительной степени гашению дуги способствует ее обдувание и, как следствие, охлаждение потоками воздуха, возникающими в дугогасительной камере под действием высокой температуры дуги.

Для гашения дуги переменного тока используют:

- 1) электромагнитное гашение дуги с помощью катушки тока и дугогасительной камеры с продольной или лабиринтной щелью;
- 2) дугогасительную камеру с деионной решеткой из стальных пластин.

Контакты выполняют свои функции удовлетворительно, если напряжение на зажимах катушки

$$U = (0,85-1,1)U_{\text{ном.}}$$

Снижение напряжения ниже $0,85 U_{\text{ном}}$ уменьшает силу, удерживающую якорь, в результате чего при некотором напряжении отпускания $U_{\text{отп}}$ происходит отпадение якоря от полюсов. Наименьшее напряжение, при котором происходит включение контактора, называют напряжением срабатывания $U_{\text{ср}}$.

Отношение

$$K_{\text{в}} = U_{\text{отп}} / U_{\text{ср}},$$

называют коэффициентом возврата.

Тяговая характеристика электромагнита переменного тока близко подходит к противодействующей характеристике, в результате контакторы переменного тока обладают высоким коэффициентом возврата (0,6–0,7), что дает возможность осуществить защиту двигателя от снижения напряжения. Для контакторов постоянного тока коэффициент возврата мал (0,2–0,3), что не дает возможности использовать контактор постоянного тока для защиты двигателя от снижения напряжения.

Магнитный пускатель – это контактор переменного тока, предназначенный для дистанционного управления и защиты от понижения напряжения питающей сети и токов перегрузки асинхронных двигателей малой и средней мощности.

Основным узлом магнитного пускателя как контактора является электромагнит переменного тока, приводящий в действие систему с контактами.

Обычно в магнитных пускателях применяют трехполюсный контактор переменного тока, имеющий три главных замыкающих контакта и от одного до четырех вспомогательных, блокировочных или блок-контактов.

В кожух магнитного пускателя кроме контактора часто встраивается тепловое реле, выполняющее токовую защиту с выдержкой времени, зависящей от величины тока.

Выбор магнитного пускателя и контакторов производится:

а) по номинальному напряжению сети $U_{\text{сети}}$:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{сети}}, \quad (3.1)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение катушки магнитного пускателя;

б) по номинальному току нагрузки $I_{\text{ном.н}}$:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.н}}, \quad (3.2)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток магнитного пускателя или контактора для конкретного режима работы;

в) по мощности двигателя исполнительного механизма;

г) по режиму работы;

д) по числу включений в час;

е) по времени включения и отключения.

Для защиты электрооборудования от перегрузок служат **тепловые реле**, которые включают последовательно в контролируемую цепь.

Тепловые реле работают в цепях переменного и постоянного тока. Их используют как самостоятельно, так и в составе магнитных пускателей.

Основным элементом теплового реле является биметаллическая пластина, состоящая из двух металлов с различными коэффициентами линейного расширения. Широкое распространение в тепловых реле получили такие материалы, как инвар (малое значение коэффициента линейного расширения α) и хромоникелевая сталь (большое значение α).

Нагрев биметаллического элемента может производиться за счет тепла, выделяемого в пластине током нагрузки. Очень часто нагрев биметалла производится от специального нагревателя, по которому протекает ток нагрузки. Лучшие характеристики получаются при комбинированном нагреве, когда пластина нагревается как за счет тепла, выделяемого специальным нагревателем, так и протекаемым через пластину током нагрузки. Прогибаясь, биметаллическая пластина своим свободным концом воздействует на контактную систему, обеспечивая срабатывание реле. Если с пластиной непосредственно связать подвижный контакт реле, то малая скорость его движения не обеспечит гашение дуги при отключении цепи. Поэтому воздействие пластины на контакт передается, как правило, через ускоряющие устройства, наиболее совершенным из которых является «прыгающий» контакт (рисунок 3.2).

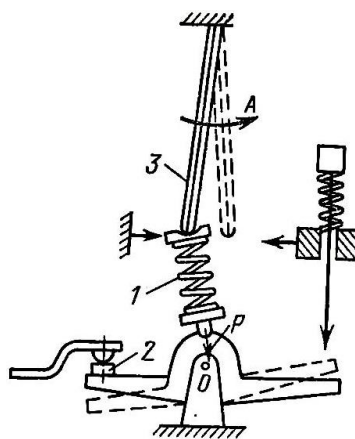


Рисунок 3.2. - Контакт

Тепловые реле выбираются по номинальному току теплового элемента и номинальному току двигателя:

$$U_{\text{ном.реле}} \geq U_{\text{сети}}, \quad (3.3)$$

$I_{\text{ном.реле}} = I_{\text{ном.дв}}$ – для двигателей, работающих в длительном режиме работы.

Плавкий предохранитель — это электрический аппарат, предназначенный для защиты электрических цепей от сверхтоков (токов перегрузки и токов короткого замыкания). Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая последовательно с защищаемой цепью, и корпус предохранителя с дугогасительным устройством.

В настоящее время используют предохранители, различающихся по принципу срабатывания и рабочему элементу:

- Предохранители с плавкой вставкой представляют собой электрический расцепитель, размыкающий электрическую цепь, реагируя на превышение расчетной номинальной нагрузки посредством расплавления вставки. Последующее использование аппарата возможно лишь при замене вставного элемента.

- Самовосстанавливающиеся предохранители после срабатывания могут использоваться повторно благодаря особым вставкам, изменяющим проводимость при изменении температуры в результате повышенных токов.

Выбор плавкого предохранителя сводится к определению его типа и номинального тока плавкой вставки $I_{\text{в}}$. Номинальные токи плавких вставки предохранителей должны определяться по условию

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{р}}, \quad (3.4)$$

где $I_{\text{р}}$ – длительный расчетный ток цепи, в которой установлены предохранители.

Предохранитель не должен перегорать при пиковых токах, а плавкие вставки не должны подвергаться тепловому старению под действием этих токов.

При легких условиях пуска двигателя значение номинального тока плавкой вставки определяется по формуле

$$I_B \geq \frac{I_{\text{пик}}}{2,5}. \quad (3.5)$$

Для тяжелых условий пуска номинальные токи плавких вставок выбираются с большим запасом:

$$I_B \geq \frac{I_{\text{пик}}}{1,6}. \quad (3.6)$$

При защите предохранителями линии, питающей группу электроприемников, значение I_B определяется по формулам (3.4) и (3.5).

По расчетным величинам I_B , найденным из условий (3.4), (3.5) или (3.6), принимается стандартное значение номинального тока плавкой вставки.

Плавкие предохранители следует проверять по току их предельной отключающей способности $I_{\text{прп}}$

$$I_{\text{прп}} \geq I_{\text{к(н)}}, \quad (3.7)$$

где $I_{\text{к(н)}}$ – ток КЗ в начале защищаемого участка сети, кА.

Для обеспечения надежности отключения тока однофазного и трехфазного КЗ $I_{\text{к(к)}}$ при повреждении в конце защищаемой линии должны соблюдаться следующие условия:

- во взрывоопасных зонах

$$I_{\text{к(к)}} \geq 4I_B; \quad (3.8)$$

- в невзрывоопасных зонах

$$I_{\text{к(к)}} \geq 3I_B. \quad (3.9)$$

Плавкие предохранители являются относительно недорогими и достаточно эффективными защитными аппаратами, позволяющими построить селективную защиту в электроустановках напряжением до 1 кВ.

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей. Как правило, автоматические выключатели выполняют функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменениях направления передачи мощности или тока и т.п. Автоматы

удобны, безопасны в обслуживании, обеспечивают надежную защиту, используются в электроустановках большой мощности.

Независимо от назначения автоматы состоят из следующих основных узлов:

- а) контактной системы;
- б) дугогасительной системы;
- в) привода;
- г) механизма свободного расцепления;
- д) расцепителей;
- е) коммутатора с блок-контактами.

Контактная система автоматов должна находиться под нагрузкой не отключаясь весьма длительное время и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Широкое распространение получили двухступенчатые (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные и дугогасительные) контактные системы.

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток переходит в параллельную цепь дугогасительных контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорали. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая поднимается вверх и гасится в дугогасительной камере.

Привод в автомате служит для включения автомата по команде оператора. Автоматы выполняются:

- 1) с ручным приводом непосредственного действия;
- 2) с дистанционным приводом (ручным, соленоидным, моторным, пневматическим).

Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен:

- а) для исключения возможности удерживать контакты автомата во включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;
- б) обеспечения моментального отключения, т.е. не зависящую от операторов, рода и массы привода скорость расхождения контактов.

Расцепители – элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

Наиболее часто применяются автоматические выключатели с комбинированным расцепителем, осуществляющие защиту от перегрузок и токов КЗ.

Автоматические выключатели могут быть с нерегулируемыми и регулируемыми расцепителями.

Номинальные токи автоматического выключателя $I_{\text{нома}}$ и его расцепителя $I_{\text{номр}}$ выбираются по следующим условиям:

$$I_{\text{нома}} \geq I_p, \quad (3.10)$$

$$I_{\text{номр}} \geq I_p. \quad (3.11)$$

где I_p – длительный рабочий или расчетный ток цепи, А.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{\text{ср.р}}$ проверяется по условию отстраивания от пикового тока линии $I_{\text{пик}}$:

$$I_{\text{ср.р}} \geq k \cdot I_{\text{пик}}, \quad (3.12)$$

где k - коэффициент, учитывающий погрешность расчета пикового тока и разброс защитных характеристик.

Ток срабатывания автоматических выключателей, как правило, устанавливается изготовителем в зависимости от $I_{\text{номр}}$:

$$I_{\text{ср.р}} = K_{\text{то}} \cdot I_{\text{номр}}, \quad (3.13)$$

где $K_{\text{то}}$ – кратность тока отсечки, принимаемая по технической документации или по справочной литературе.

Расчетное значение кратности тока отсечки может быть найдено по выражению

$$K_{\text{то}} \geq \frac{k \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{номр}}}.$$

По своей предельной отключающей способности $I_{\text{пра}}$ автоматический выключатель должен соответствовать току КЗ в начале защищаемого участка линии:

$$I_{\text{пра}} \geq I_{\text{к(н)}}. \quad (3.14)$$

Проверку надежности отключения автоматом аварийного участка сети при КЗ в конце линии следует производить по следующим условиям:

-при защите электрических цепей во взрывоопасных зонах:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 6I_{\text{номр}}; \quad (3.15)$$

-при защите в невзрывоопасных зонах:

$$I_{\text{к(к)}} \geq 3I_{\text{ном}}. \quad (3.16)$$

В любых зонах ток КЗ по отношению к уставке срабатывания автомата при КЗ должен соответствовать таким условиям:

-для автоматов с номинальным током до 100 А

$$I_{\text{к(к)}} \geq 1,4I_{\text{ср.р}}; \quad (3.17)$$

-для автоматов с номинальным более 100 А

$$I_{к(к)} \geq 1,25I_{ср.р.} \quad (3.18)$$

Если расчетная проверка показала, что приведенные выше условия не выполняются, то отключение КЗ в сети напряжением до 1кВ должно обеспечиваться специальной защитой.

3.2. Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ

Выключатель является основным аппаратом, определяющим технические характеристики и принцип построения конструкции комплектного РУ. Он является наиболее сложным и наиболее ответственным электрическим аппаратом, а его надежность определяет надежность работы всего РУ. Выключатели предназначены для включения и отключения электрических цепей в любых режимах, в том числе и для автоматического отключения и включения цепей в аварийном режиме.

В зависимости от применяемой дугогасительной среды и способа гашения дуги выключатели на напряжение выше 1 кВ бывают следующих типов: маломасляные, электромагнитные, вакуумные и элегазовые.

Различные типы маломасляных выключателей до сих пор широко используются в высоковольтных РУ существующих электрических сетей различного назначения, а электромагнитные выключатели напряжением выше 1 кВ напротив не получили широкого распространения и в настоящее время практически не выпускаются. Сравнение технических параметров выключателей показывает, что вакуумные и элегазовые выключатели имеют лучшие показатели. Это приводит к постепенному вытеснению маломасляных выключателей из сферы применения в РУ. Следует отметить, что вакуумные выключатели первого и второго поколения имеют ряд недостатков, одним из которых является возможность коммутационных перенапряжений при отключении небольших индуктивных токов (холостой ход трансформатора), что влечет за собой необходимость использования ограничителей перенапряжения. В вакуумных выключателях также требуется постоянный контроль отсутствия напряжения на всех трех фазах после отключения присоединения, так как в случае потери вакуума в одной из дугогасительных камер может произойти приваривание контактов. Элегазовые выключатели требуют устройств для очистки, заполнения и перекачки элегаза, а при низких температурах окружающего воздуха - и специальных подогревающих устройств.

Когда применение довольно дорогих силовых выключателей оказывается экономически нецелесообразным, в РУ могут быть установлены **выключатели нагрузки (ВН)**. ВН представляет собой разъединитель с простейшей дугогасительной камерой. Он приспособлен для включения и отключения рабочих токов нагрузки. Для осуществления защиты от токов короткого замыкания необходимо дополнительно устанавливать

высоковольтные плавкие предохранители. Последнее время выключатель нагрузки находит все большее применение. При этом гашение дуги выполняется разнообразными способами: коммутации в воздухе, в вакууме, в элегазе, в трансформаторном масле и т.п.

Разъединители устанавливаются в цепях для создания видимого разрыва в цепи между ее оборудованием и оборудованием других цепей, которые могут находиться под напряжением и продолжать работать. Для безопасности обслуживания и ремонта оборудование отключенной цепи не только отделяется от цепей, оставшихся под напряжением, но и заземляется. В общем случае в цепях требуется установка разъединителей с тех сторон оборудования цепи, откуда на него может быть подано напряжение. Поэтому линейные разъединители в камерах КРУ на линиях к электродвигателям, электрическим печам, батареям высоковольтных конденсаторов, а также к трансформаторам, которые не имеют связи на вторичном напряжении не устанавливаются, так как в этих случаях исключена возможность появления напряжения со стороны потребителя.

Выбор выключателей осуществляется по следующим условиям

- по напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{раб}} \quad (3.16)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение аппарата, кВ;

$U_{\text{раб}}$ – рабочее напряжение сети, в которой установлен аппарат, кВ;

- по току:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}} \quad (3.17)$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ра}} \quad (3.18)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток аппарата, А;

$I_{\text{р}}$, $I_{\text{ра}}$ – соответственно расчетный ток номинального и аварийного режима, А;

- по отключающей способности:

$$S_{\text{отк}} \geq S_{\text{к}} \quad (3.19)$$

$$I_{\text{отк}} \geq I_{\text{к}} \quad (3.20)$$

где $S_{\text{отк}}$, $S_{\text{к}}$ – соответственно расчетная и номинальная мощность отключения короткого замыкания, кВ·А;

$I_{\text{отк}}$, $I_{\text{к}}$ – действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в точке установки выключателя и его номинальный ток отключения КЗ, кА.

$$S_{\text{отк}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{срн}} \cdot I_{\text{отк}}, \quad (3.21)$$

$$S_{отк} = \sqrt{3} \cdot U_{срн} \cdot I_{к}, \quad (3.22)$$

- по динамической стойкости:

$$i_{дин} \geq i_y \quad (3.23)$$

где $i_{дин}$, i_y – соответственно ударный ток короткого замыкания и ток электродинамической стойкости аппарата, кА;

- по термической стойкости:

$$B_T \geq B_k \quad (3.24)$$

$$B_T = I_T^2 \cdot t_T \quad (3.25)$$

где B_k – расчетный тепловой импульс короткого замыкания, $A^2 \cdot c$;

I_T – ток термической стойкости аппарата, нормированный заводом – изготовителем, кА;

t_T – допустимое время действия тока термической стойкости, кА.

Выбор выключателей нагрузки осуществляется по следующим условиям:

- по напряжению по условию (3.16);
- по току по условию (3.17);
- по динамической стойкости по условию (3.23);
- термической стойкости по условию (3.24).

При необходимости защиты электрической цепи от тока КЗ применяются выключатели нагрузки, оснащенные высоковольтными предохранителями, которые выбираются по номинальному току, напряжению и предельно отключаемому току $I_{отк}$.

Номинальный ток предохранителя $I_{ном пр}$ защищающий трансформатор от токов КЗ, выбирается по условию

$$I_{ном пр} = (1,5 - 2,0) I_{ном т},$$

где $I_{ном т}$ – номинальный ток силового трансформатора, А.

Выбор разъединителей осуществляется по следующим условиям:

- по напряжению по условию (3.16);
- по току по условию (3.17);
- по динамической стойкости по условию (3.23);
- по термической стойкости по условию (3.24).

3.3. Измерительные трансформаторы тока и напряжения

Трансформаторами тока называются электромагнитные устройства для преобразования, измеряемого или контролируемого тока с целью снижения его до величины (как правило, стандартной, 5 или 1 А), допускающей подключение измерительных приборов или аппаратов защиты

(реле). Кроме того, в установках выше 1 кВ они выполняют также функцию изоляции цепей высокого напряжения от вторичных цепей (измерительной и защитной аппаратуры), обеспечивая тем самым безопасность их обслуживания.

Трансформатор тока состоит из магнитопровода, первичной и вторичной обмоток (рисунок 3.3). Первичная обмотка включается последовательно в цепь измеряемого тока I_1 , вторичная обмотка замыкается на цепь последовательно включенных измерительных и др. приборов, обтекаемых током I_2 . Вследствие малого сопротивления токовых цепей измерительных приборов и реле трансформатор тока работает в режиме, близком к КЗ.

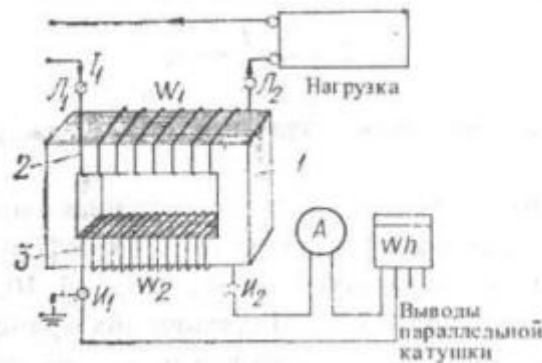


Рисунок 3.3. - Схема устройства трансформатора тока:

- 1 – сердечник из листовой или ленточной электротехнической стали;
2 – первичная обмотка; 3 – вторичная обмотка

При размыкании вторичной обмотки резко увеличивается магнитный поток в сердечнике, т.к. в нормальном режиме вторичный ток создает размагничивающий поток, а при его исчезновении поток в сердечнике определяется полным первичным током. В этом режиме сердечник может нагреваться до недопустимой температуры, а на вторичной обмотке появится высокое напряжение, достигающее в некоторых случаях нескольких киловольт. Поэтому режим работы трансформатора с разомкнутой вторичной обмоткой недопустим. При необходимости отключения вторичной нагрузки трансформатора его вторичная цепь должна быть замкнута накоротко или шунтирована. Безопасность работы во вторичных цепях достигается также заземлением одного из вторичных выводов.

Трансформатор тока характеризуется номинальным коэффициентом трансформации:

$$K_{I_{\text{НОМ}}} = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}},$$

где $I_{1\text{НОМ}}$ – номинальный первичный ток; $I_{2\text{НОМ}}$ – номинальный вторичный ток.

Трансформаторы тока имеют токовые ΔI и угловые погрешности.
Токовая погрешность:

$$\Delta I = \frac{K_{\text{НОМ}} I_2 - I_1}{I_1} 100\%.$$

Угловая погрешность определяется углом δ между векторами тока I_1 и I_2 .

Величина токовой погрешности, выраженная в процентах, является классом точности трансформатора тока. Классы точности измерительных трансформаторов тока и напряжения регламентируются нормативными документами. Трансформаторы тока с классом точности 0,5S; 0,5 и 1,0 используются для электрических измерений. Для релейной защиты выбираются трансформаторы тока, имеющие необходимую номинальную предельную кратность первичного тока по отношению к его номинальному значению, при которой полная погрешность достигает 5 или 10 %. Соответственно трансформаторы тока имеют класс точности 5P и 10P. Нагрузка трансформатора тока и ее коэффициент мощности должны быть номинальными.

Применяемые для расчетного учета электроэнергии ТТ должны иметь класс точности не менее 0,5S. При этом каждая последовательная цепь статического счетчика должна подключаться к отдельной вторичной измерительной обмотке ТТ. Подключение ко вторичной обмотке ТТ, в которую включены счетчики расчетного учета, других измерительных приборов, средств автоматики и защиты, запрещается. Поэтому в цепях напряжением 6–10 кВ, где осуществляется расчетный учет электроэнергии, в трех фазах устанавливаются ТТ с тремя вторичными обмотками (для учета электроэнергии, электрических измерений и релейной защиты). Рекомендуется применять ТТ с сердечниками из нанокристаллических сплавов или с комбинированными сердечниками. В системе технического учета электроэнергии допускается применять ТТ с классом точности 1,0. Здесь при использовании микропроцессорной защиты в каждой фазе устанавливаются ТТ с двумя вторичными обмотками. При защите на электромагнитных реле допустимо применение ТТ в двух фазах (L1 и L3).

Трансформаторы тока выбираются:

- по напряжению установки:

$$U_{\text{НОМ1Т}} \geq U_{\text{НОМ}},$$

где $U_{\text{НОМ1Т}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора тока;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение силовой сети.

- по току нормального режима:

$$I_{\text{НОМ1}} \geq I_{\text{р}},$$

где $I_{\text{ном1}}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока.
 - по току послеаварийного режима или максимальному расчетному току:

$$k_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном1}} \geq I_{\text{ра}} ;$$

$$k_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном1}} \geq I_{\text{рmax}} ,$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент перегрузки; для трансформаторов тока $k_{\text{п}} = 1, 2$
 - по конструкции и классу точности;
 - по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} = k_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном1}} \geq i_{\text{у}} ,$$

где $k_{\text{эд}}$ – кратность тока электродинамической стойкости, взятая по каталогу;

$i_{\text{у}}$ – ударный ток КЗ.

- по термической стойкости:

$$(k_{\text{т}} \cdot I_{\text{ном1}})^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}} ;$$

или

$$k_{\text{т}} \geq \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{кз}}}}{I_{\text{ном1}}} ,$$

где $k_{\text{т}}$ – кратность тока термической стойкости по каталогу;

$t_{\text{кз}}$ – длительность протекания тока КЗ.

- по вторичной нагрузке трансформатора:

$$S_{\text{ном2}} \geq S_{\text{р}} ,$$

где $S_{\text{ном2}}$ – номинальная нагрузка вторичной обмотки трансформатора тока;

$S_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка вторичной обмотки трансформатора тока в нормальном режиме.

Номинальная нагрузка вторичной обмотки трансформатора тока находится по формуле:

$$S_{\text{ном2}} = I_{\text{ном2}}^2 \cdot z_{\text{т}} ,$$

где $z_{\text{т}}$ – полное допустимое сопротивление внешней цепи, подключаемой ко вторичной обмотке трансформатора тока (сумма

сопротивлений последовательно включенных обмоток приборов, реле, проводов и контактов), Ом;

$I_{\text{ном2}}$ – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока

Расчетная нагрузка вторичной обмотки трансформатора тока в нормальном режиме

$$S_p = S_{\text{приб}} + I_{\text{ном2}}^2 \cdot (r_{\text{пр}} + r_{\text{к}}),$$

где $S_{\text{приб}}$ – полная мощность, потребляемая приборами, В·А.

$r_{\text{к}}$ – сопротивление контактов;

$r_{\text{пр}}$ – сопротивление проводников цепи измерения.

Чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности, сопротивление соединительных проводов не должно превышать значения

$$r_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{ном2}} - S_{\text{приб}} - I_{\text{ном2}}^2 \cdot r_{\text{к}}}{I_{\text{ном2}}^2}.$$

Трансформаторами напряжения называют электромагнитные устройства, предназначенные для понижения высокого напряжения до стандартной величины 100 или $100\sqrt{3}$ В и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Трансформатор напряжения по схеме включения представляет собой силовой трансформатор небольшой мощности (до 500 В·А). Схема устройства однофазного трансформатора напряжения приведена на рисунке 3.4. Для безопасности обслуживания один ввод вторичной обмотки заземляется. В отличие от трансформатора тока, трансформатор напряжения работает с небольшой нагрузкой в режиме, близком к холостому ходу.

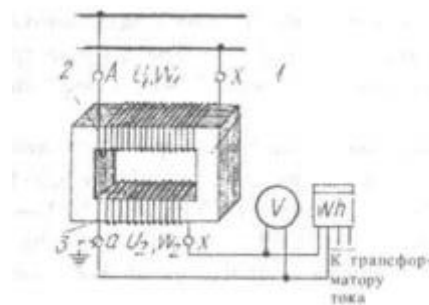


Рисунок 3.4. - Схема устройства однофазного трансформатора напряжения:

1 – сердечник из листовой электротехнической стали; 2 – первичная обмотка; 3 – вторичная обмотка

Трансформаторы напряжения характеризуются номинальным коэффициентом трансформации:

$$K_{U_{\text{НОМ}}} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{U_{2\text{НОМ}}},$$

где $U_{1\text{НОМ}}$ – номинальное первичное напряжение, $U_{2\text{НОМ}}$ – номинальное вторичное напряжение.

Трансформатор напряжения имеет погрешность по напряжению $\Delta U\%$ и по углу δ .

Погрешность по напряжению:

$$\Delta U = \frac{K_{U_{\text{НОМ}}} U_2 - U_1}{U_1} 100\%.$$

Угловая погрешность характеризуется углом между векторами напряжения первичной и вторичной обмоток. Погрешности зависят от величины нагрузки вторичной обмотки трансформатора напряжения. При повышении нагрузки погрешности возрастают — и наоборот. Трансформаторы напряжения в зависимости от величины нагрузки могут иметь классы точности 0,2; 0,5; 1; 3. Наивысший класс точности считается номинальным для данного трансформатора напряжения.

Выбор трансформаторов напряжения производится:

- по номинальному напряжению:

$$U_{\text{НОМ}1} \geq U_{\text{НОМ}}.$$

- по конструкции и схеме соединения обмоток;
- по классу точности;
- по мощности нагрузки вторичной обмотки:

$$S_{\text{НОМ}} \geq S_2 = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2},$$

где P_{Σ} и Q_{Σ} – суммарные активная и реактивная мощности подключенных к трансформатору напряжения приборов:

$$P_{\Sigma} = S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}},$$

$$Q_{\Sigma} = S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}.$$

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 КВ

Тема 4.1. Трансформаторная подстанция и режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ

Согласно ГОСТ 30830-2002 силовым трансформатором называется статическое устройство, имеющее две или более обмотки, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного напряжения и тока в одну или несколько других систем переменного напряжения или тока, имеющих обычно другие значения при той же частоте, с целью передачи мощности. Трансформаторы являются основными элементами подстанций систем электроснабжения производственных объектов. Они обладают высокой надежностью и при правильной эксплуатации могут служить 20-25 лет.

В СЭС промышленных предприятий на главных понизительных подстанциях и подстанциях глубокого ввода преимущественно используются трансформаторы с номинальной мощностью 32, 40, 63 и 80 МВ·А. Трансформаторы меньшей мощности целесообразны на предприятиях с нагрузками, рассредоточенными на большой территории (например, горнорудные предприятия, карьеры и т.п.).

Распределительные трансформаторы с высшим напряжением 6-10 кВ с номинальной мощностью до 2500 кВ·А выпускаются с естественным масляным охлаждением, сухими и с охлаждением негорючим диэлектриком.

В системах распределения электроэнергии напряжением 6 – 10 кВ, как правило, применяются маслонаполненные трансформаторы. Наиболее эффективными являются герметичные трансформаторы серии ТМГ.

Трансформаторные подстанции напряжением 10(6)/0,4 кВ промышленных предприятий на первичном напряжении могут иметь схемы с высоковольтными вводными устройствами или со сборными шинами. При этом широко применяются комплектные трансформаторные подстанции (КТП).

Трансформаторы цеховых трансформаторных подстанций мощностью 400-2500 кВ·А выпускаются со схемами соединения обмоток "звезда-звезда" с допустимым током нулевого вывода, равным 0,25 номинального тока трансформатора, или "треугольник-звезда" с нулевым выводом, рассчитанным на ток, равный 0,75 номинального тока трансформатора. Например, трансформатор с $S_{\text{ном}}=1000$ кВ·А при включении однофазной нагрузки между двумя фазами (на одно из линейных напряжений) может быть загружен на мощность $2 \cdot 1000 / 3 = 667$ кВ·А, а при включении однофазной нагрузки между одной из фаз и нулем (на одно из фазных напряжений) на величину $0,25 \cdot 1000 / 3 = 83$ кВ·А при схеме Y/Y_0 и $0,75 \cdot 1000 / 3 = 250$ кВ·А – при схеме Δ/Y_0 .

В системах электроснабжения промышленных предприятий более предпочтительным является применение трансформаторов напряжением 10(6)/0,4 кВ со схемой соединения обмоток "треугольник-звезда" с нулевым выводом, так как при такой схеме повышается надежность отключения однофазных КЗ (меньше сопротивление нулевой последовательности

трансформатора) и возможно подключение больших несимметричных нагрузок.

Выбор числа и мощности трансформаторов

Как правило, на подстанциях устанавливаются два трансформатора с одинаковой номинальной мощностью, которая определяется по выражению

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{N_T \beta_T},$$

где S_p – полная расчетная мощность потребителей электроэнергии на шинах низшего напряжения подстанции;

N_T – число трансформаторов на подстанции;

β_T – коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме, который принимается равным 0,65-0,7.

При проектировании СЭС промышленных объектов выбор силовых распределительных трансформаторов напряжением (6-10)/0,4кВ, как правило, производится в процессе расчета компенсации реактивной мощности. Предварительно необходимо принять единичную номинальную мощность $S_{\text{ном}}$ трансформатора для рассматриваемого потребителя или группы потребителей электроэнергии. При рассредоточенной нагрузке номинальную мощность цеховых трансформаторов ориентировочно можно принимать по величине плотности нагрузки, определяемой по выражению

$$S_y = \frac{S_{\text{рн}}}{F},$$

где $S_{\text{рн}}$ – расчетная полная мощность нагрузки объекта (корпуса, цеха, отделения и т.д.) на напряжении до 1 кВ, кВ·А/м²;

F – производственная площадь объекта, электроснабжение которого осуществляется от трансформаторов, м².

Как правило, при выборе силовых трансформаторов напряжением (6-10)/0,4кВ допускается принимать следующие единичные мощности:

1000 и 1600 кВ·А – при $S_y < 0,2$ кВ·А/м²;

1600 кВ·А – при $S_y = 0,2-0,5$ кВ·А/м²;

2500 и 1600 кВ·А – при $S_y > 0,5$ кВ·А/м².

Трансформаторы мощностью до 630кВ·А применяются при малой плотности нагрузок, в частности на мелких и средних объектах, на периферийных участках крупных предприятий, для административных зданий и т.п. Трансформаторы с номинальной мощностью $S_{\text{ном}}=1250$ кВ·А в учебных проектах предусматривать не рекомендуется, так как данная мощность не предусмотрена действующим стандартом ГОСТ 9680-77.

При сосредоточенной нагрузке потребителей выбор номинальной мощности трансформаторов по критерию S_y производить не следует.

Количество типоразмеров цеховых трансформаторов на предприятии должно быть минимальным (не более 3).

Если известны номинальная мощность $S_{\text{ном}}$ и коэффициент загрузки трансформатора β_{T} , то минимальное число трансформаторов N_{Tmin} , устанавливаемых на объекте (в цехе, корпусе и т.п.), рассчитывается по выражению

$$N_{\text{Tmin}} \geq \frac{P_{\text{рн}}}{\beta_{\text{T}} \cdot S_{\text{ном}}},$$

где $P_{\text{рн}}$ – расчетная активная рассматриваемого объекта, кВт.

Расчет N_{Tmin} производится по активной нагрузке потребителя. При этом предполагается, что реактивная мощность объекта будет покрываться как от источников, расположенных в энергосистеме, так и от батарей низковольтных конденсаторов, установленных в сетях напряжением до 1кВ силовых трансформаторов.

Для трансформаторов цеховых ТП следует принимать такие значения коэффициента загрузки:

0,65-0,7 – для цехов с преобладающей нагрузкой электроприемников 1-й категории при использовании двухтрансформаторных ТП;

0,7-0,8 - для цехов с преобладающей нагрузкой электроприемников 2-й категории при однострансформаторных ТП с взаимным резервированием трансформаторов;

0,9-0,95 - для цехов с преобладающей нагрузкой электроприемников 2-й категории при возможности использования централизованного резерва трансформаторов, а также для цехов с нагрузками электроприемников 3-й категории.

При необходимости резервирования электроснабжения номинальная мощность трансформаторов двухтрансформаторных подстанций выбирается из условия питания всей нагрузки в послеаварийном режиме с учетом перегрузочной способности трансформаторов. При проектировании допустимую систематическую перегрузку масляных трансформаторов принимают равной 40, а сухих – 20%.

Области применения напряжений 400/230 и 690 /400В

Для электроснабжения производственных установок на напряжении до 1 кВ наибольшее распространение получили трехфазные пятипроводные и четырехпроводные системы напряжением 400/230 В (в старых установках - 380/220 В). Они позволяют питать электроприемники, включенные на фазное и междуфазное напряжение. Указанные системы применяются во всех случаях, если этому не препятствуют местные условия или с помощью технико-экономических расчетов не доказана целесообразность использования более высокого напряжения.

Максимальная мощность единичного трехфазного электроприемника в сети напряжением 400/230 В не должна превышать величины, допускающей использование контакторов на силу тока 630 А (примерно 436 кВт·А).

Система напряжением 690 /400 В по сравнению с 400/230 В снижает затраты на кабельную сеть примерно на 25 %, а потери электроэнергии – на

30-40 %. Однако при системе 690 /400 В во многих случаях необходима сеть напряжением 400/230 В, которая нужна для питания осветительных установок, тиристорных преобразователей, средств автоматизации и электродвигателей мощностью до 0,4 кВт. В связи с этим трехфазную систему напряжением 690 /400 В рекомендуется применять в следующих случаях:

- 1) когда возможно отказаться от электрической сети 400/230В, получая напряжение 230В через специальные трансформаторы;
- 2) основную часть электроприемников напряжением до 1 кВ составляют электродвигатели, имеющие единичную номинальную мощность более 10 кВт;
- 3) кабельные линии напряжением до 1 кВ имеют значительную протяженность;
- 4) производители технологического оборудования обеспечивают поставку электрооборудования и систем управления на напряжении 690 В.

В наибольшей степени этим условиям соответствуют объекты водоснабжения, лесотехнических комплексов, рудники и химические предприятия. Отметим, что при напряжении 690 В должны применяться кабели с изоляцией на напряжение 1 кВ.

Режимы нейтрали электроустановок напряжением до 1 кВ

Режим нейтрали электрической сети напряжением до 1 кВ отражает состояние нейтральных точек обмоток вторичного напряжения силовых трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ, электрически связанных между собой линиями электропередачи. Электроустановки трехфазного переменного тока напряжением до 1 кВ работают как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью, а электроустановки постоянного тока – с глухо заземленной или изолированной средней точкой. При выборе режима нейтрали в электроустановках напряжением до 1 кВ руководствуются соображениями экономичности, надежности и электробезопасности. Системы с глухозаземленной нейтралью дороже, чем с изолированной нейтралью, так как требуют дополнительных затрат на заземление источника питания, установку третьего измерительного трансформатора тока и реле. Однако в таких системах возможно подключение электроприемников как на линейное (междуфазное), так и на фазное напряжение. Это весьма важно, так как многие приемники электроэнергии питаются на фазном напряжении (световые приборы, системы управления, микромашины и т.п.). При этом путем зануления обеспечивается достаточно простая защита людей от воздействия электрического тока при прикосновении к открытым проводящим частям оборудования, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции токоведущих частей. Под занулением понимается преднамеренное соединение открытых металлических частей оборудования, нормально не находящихся под напряжением, с точкой заземления источника питания с помощью нулевого проводника. Всякое однофазное замыкание в системе с глухозаземленной нейтралью вызывает отключение поврежденной линии. С одной стороны, это защищает электроустановки от термического воздействия сверхтока и повышает электробезопасность людей, которые по

роду своей деятельности соприкасаются с электрооборудованием, а с другой приводит к увеличению числа непреднамеренных внезапных отключений в электрических сетях.

В электроустановках с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ должен осуществляться постоянный автоматический контроль состояния изоляции электрооборудования с последующим немедленным отключением электрической сети, в которой произошло повреждение изоляции.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ используются следующие системы:

1. Система *TN*, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников. Данная система подразделяется на следующие подсистемы:

- подсистема *TN-C*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике *PEN* на всем ее протяжении;
- подсистема *TN-S*, в которой нулевой защитный (*PE*) и нулевой рабочий (*N*) проводники разделены на всем ее протяжении;
- подсистема *TN-C-S*, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

2. Система *TT* – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

3. Система *IT*, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

В обозначении систем (подсистем) первая буква относится к источнику питания, а вторая буква – к способу заземления открытых токопроводящих частей электрооборудования зданий. При этом буквы означают:

T (от французского слова *terre* – земля) - непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания (как правило, нейтрали) к земле;

I (*isole* – изолировано) – все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление;

N (от французского слова *neutre* – нейтраль) - непосредственная связь открытых токопроводящих частей оборудования с точкой заземления источника питания с помощью нулевого проводника. Следовательно, в системе *TN* в электрических сетях переменного тока необходимо производить зануление оборудования;

T – открытые проводящие части оборудования заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети.

Последующие буквы относятся к устройству нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

C (от французского слова *combine* – комбинация) – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников выполняет общий проводник *PEN*.

S (от французского слова *separe* – сепарация) – функции нулевого рабочего (*N*) и нулевого защитного (*PE*) проводников обеспечиваются специальными отдельными проводниками.

Тема 4.2. Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ

Источникам питания в системе внутреннего электроснабжения цехов являются ТП (6)10/(0,4)0,23 кВ к которым через коммутационные и защитные аппараты присоединяются проводники, магистральные шинопроводы (МШ) запитывающие отдельное крупное электрооборудование или группы электроприемников через силовые пункты, распределительные, троллейные и осветительные шинопроводы, щитки освещения и др. Также источниками питания могут быть главные распределительные устройства или вводно – распределительные устройства.

Электрические сети напряжением до 1кВ условно делятся на питающие и распределительные.

Питающие внутрицеховые сети на промышленных предприятий строятся по *магистральным* схемам, где широко применяются шинопроводы. В ТП магистральные шинопроводы подключаются к небольшим распределительным устройствам через линейный автоматический выключатель или наглухо.

Радиальные схемы питающих сетей внутри помещений применяются в том случае, если магистральные схемы не могут быть приняты из-за территориального расположения потребителей или неблагоприятных условий окружающей среды, при повышенных требованиях к надежности электроснабжения, а также по технико-экономическим соображениям.

Распределительные внутрицеховые сети выполняются по магистральной, радиальной или смешанной схеме.

Магистральные схемы, выполненные распределительными шинопроводами, применяются для электроснабжения групп электроприемников относительно небольшой мощности, равномерно распределенных по производственной площади.

Радиальные схемы следует предусматривать в тех случаях, когда применению распределительных шинопроводов препятствуют условия окружающей среды и территориальное размещение электроприемников. Радиальные схемы обеспечивают большую надежность питания отдельных потребителей, т.к. при аварии отключается только поврежденная линия. Радиальные схемы легче автоматизировать, однако они требуют больших капитальных затрат и имеют худшие экономические показатели.

Радиальные схемы строятся с применением распределительных панелей, щитов, силовых пунктов, шкафов управления и т.д.

Смешанные схемы строятся с применением шинопроводов и распределительных пунктов.

Распределительная сеть в цехах промышленных предприятий с нормальной средой может быть выполнена в виде модульной электропроводки. Такую проводку целесообразно применять в помещениях, где электроприемники располагаются по всей площади, а также там, где часто производится смена или перемещение технологического оборудования.

Для электроснабжения силовых электроприемников следует выбирать экономически выгодные схемы, обеспечивающие необходимую надежность, безопасность и удобство эксплуатации электроустановок.

Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ выполняются в виде шинопроводов, кабельных линий и электропроводок

Шинопроводы представляют собой электротехнические устройства, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии на напряжении до 1 кВ внутри помещений промышленных предприятий. По назначению шинопроводы делятся на магистральные, распределительные, троллейные и осветительные.

Магистральные шинопроводы служат для передачи электроэнергии от силовых трансформаторов к потребителям. Это комплектные устройства, имеющие разные номинальные токи, состоит из секций определенного назначения (прямых, угловых, вертикальных, присоединительных и т.д.).

Распределительные шинопроводы используются для питания силовых электроприемников относительно небольшой мощности, расположенных упорядоченно по производственной площади. Шинопроводы выполняются комплектно и состоят из типовых элементов: секций прямых, угловых, вводных и т.п.; ответвительных коробок и др.

Троллейные шинопроводы используются для питания передвижных электроприемников (кранов, кран-балок, тельферов и т.п.).

Осветительные шинопроводы применяются для питания световых приборов в обоснованных случаях.

Кабельные линии предназначены для передачи электроэнергии или ее отдельных импульсов, состоящие из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями. Кабель представляет собой одну или более изолированных алюминиевых или медных жил, заключенных в герметичную оболочку (пластмассовую, резиновую или металлическую), поверх которой могут быть броня и защитные покрытия.

На рисунке 4.1 приведены схемы расположения жил одинакового сечения для многожильных кабелей.

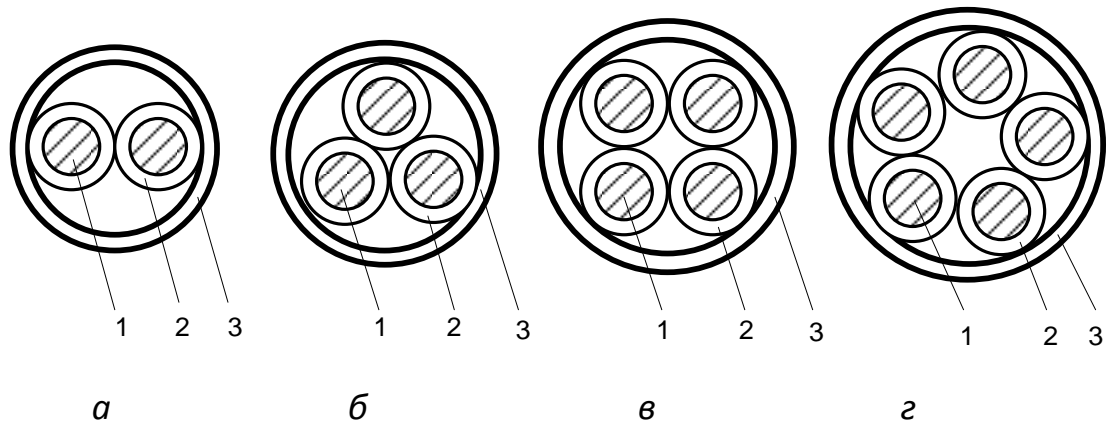


Рисунок 4.1. - Схемы расположения жил в кабеле:
а-двухжильном; *б*-трехжильном; *в*-четырёхжильном; *г*-пятижильном;
 1-токопроводящая жила; 2-фазная изоляция жилы; 3-оболочка кабеля

В электроустановках напряжением до 1 кВ в подавляющем большинстве случаев применяются кабели с полимерной или резиновой изоляцией.

Марка кабеля состоит из последовательно расположенных букв, обозначающих материал жилы, изоляции, а также тип защитного покрова поверх металлической, резиновой и пластмассовой оболочки.

Основные условные обозначения, которые приняты при маркировке кабелей.

Буква А в начале марки кабеля означает, что кабель выполнен с алюминиевыми жилами (кабель с медными жилами не имеет специального обозначения).

Обычная бумажная изоляция жил, пропитанная маслоканифольным составом, в марке кабеля не обозначается. Наиболее распространенные материалы изоляции жил кабелей маркируются следующим образом:

В – поливинилхлоридный (ПВХ) пластикат;

П – полиэтилен;

Пв – вулканизированный (сшитый) полиэтилен;

Пу – усиленный полиэтилен;

Р-резина;

Ц- кабельная бумага, пропитанная нестекающим составом на основе церезина (в марке кабеля буква Ц ставится первой);

У – пропитанная бумага с повышенной температурой нагрева (символ ставится в конце обозначения кабеля).

Материал оболочки кабеля обозначается такими буквами:

А – алюминий;

С – свинец (буква О, стоящая перед С означает, что кабель имеет отдельно освинцованные жилы);

В - поливинилхлоридный пластикат;

Н – негорючая резина.

Сочетание букв НР в марке кабеля показывает, что применены резиновая изоляция и оболочка из резины, не поддерживающей горение.

Защитные покровы кабеля имеют обозначения:

Б – броня из двух стальных оцинкованных лент с защитным наружным покровом;

Бн - то же, но с негорючим защитным покровом (не поддерживающим горение).

К – броня из круглых стальных оцинкованных проволок с защитным наружным покровом;

П - броня из плоских стальных оцинкованных проволок с защитным наружным покровом;

Шв - защитный покров в виде выпрессованного шланга (оболочки) из поливинилхлорида;

Г – голый, отсутствие защитного покрова поверх оболочки.

Используются также специальные символы, отражающие особенности конструктивного исполнения кабеля:

ож - однопроволочные жилы;

б - без подушки (между оболочкой и ленточной броней нет защитного покрова), указывается после обозначения брони буквой Б;

г – продольная герметизация водоблокирующими лентами;

л - в составе подушки имеется дополнительная лавсановая лента;

2л - в составе подушки есть дополнительная двойная лавсановая лента;

нг - не поддерживающий горения;

LS – (*Low Smoke*)- низкое дымо- и газовыделение.

Обычная бумажная изоляция жил, пропитанная маслоканифольным составом, в марке кабеля не обозначается. Наиболее распространенными марками кабелей, применяющиеся в электрических сетях напряжением до 1 кВ являются:

АВВГ – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, в оболочке из ПВХ пластиката, без защитного покрова поверх оболочки (голый); ВВГ – то же, но с медными жилами;

АВБбШв – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из ПВХ пластиката, имеется броня из двух оцинкованных стальных лент без подушки, наложенных так, что верхняя лента перекрывает зазоры между витками нижней ленты, и защитный шланг, выпрессованный из ПВХ пластиката;

АПвБбШв – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена, имеется броня из двух оцинкованных стальных лент без подушки и защитный шланг, выпрессованный из ПВХ пластиката.

КГ – кабель гибкий с медными жилами с резиновой изоляцией.

Электропроводка – это совокупность изолированных проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями и деталями. В электропроводках применяются изолированные провода всех сечений, а также небронированные силовые кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией, в любой оболочке с площадью сечения фазных жил до 16 мм².

Электропроводки подразделяются на открытые и скрытые. Открытая электропроводка прокладывается по поверхности стен и потолков, по фермам

и другим строительным элементам зданий и сооружений, на опорах и т.п. При скрытой прокладке проводники и элементы электропроводки находятся внутри конструктивных элементов зданий и сооружений.

Марки проводов состоят из совокупности букв. Провода с алюминиевыми жилами в начале марки имеют букву А. Для проводов с медными жилами проводниковый материал не обозначается. Буква П, указанная после буквы А означает провод с алюминиевой жилой, а в начале марки - с медной жилой.

Плоские провода в марке имеют обозначение ПП. Далее, как правило, указывается материал изоляции проводов: В – поливинилхлоридный пластикат, Р - резина, П - полиэтилен. Затем обозначаются конструктивные особенности проводов: Г – гибкий, Т – для прокладки в трубах, О – наличие поверх резиновой изоляции хлопчатобумажной оплетки, Ф – провод в фальцованной металлической оболочке и т.д. Некоторые изолированные провода (например, марки ПУНП, АПУНП и др.) маркируются несколько иначе.

Изолированные установочные провода могут быть без защитной оболочки или иметь ее. Изолированный провод, не имеющий оболочки, считается незащищенным. Провод, который имеет оболочку, предназначенную для герметизации и защиты от внешних воздействий, находящихся внутри ее изолированных жил, называется защищенным. Защищенные провода выпускаются одно- и многожильными. Такие провода имеют резиновую или пластмассовую изоляцию и оболочку, выполненную из различных материалов. На рисунке 4.2 для примера показано конструктивное исполнение незащищенного и защищенного изолированных проводов.

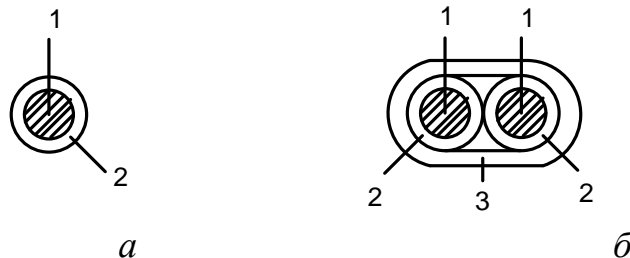


Рисунок 4.2. - Изолированные провода:

a - незащищенный одножильный; *б* - защищенный двухжильный;
1-токопроводящая жила; 2-изоляция из пластмассы или резины;
3-защитная оболочка.

К незащищенным относятся провода следующих марок:

АПВ – провод с алюминиевой жилой с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката;

ПВ - провод с медной жилой с изоляцией из ПВХ пластиката;

АПР - провод с алюминиевой жилой с резиновой изоляцией;

ПР – то же, но с медной жилой;

АПРТО - провод с алюминиевой жилой с резиновой изоляцией, для прокладки в трубах, с хлопчатобумажной оплеткой, пропитанной противогнилостным составом;

ПРТО – то же, но с медной жилой.

Из незащищенных изолированных проводов при выполнении электропроводок широкое распространение получили провода с медными и алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией марок ПВ и АПВ.

Некоторые марки защищенных изолированных проводов, применяемых в электропроводках, приведены ниже:

АПРВ – провод с алюминиевой жилой с резиновой изоляцией в оболочке из ПВХ пластиката;

ПУНП – провод установочный с медной жилой, с изоляцией и оболочкой из ПВХ пластиката, плоский, для неподвижной прокладки;

АПУНП – то же, но с алюминиевой жилой;

ПВС – провод с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из ПВХ пластиката, соединительный.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ широко используются **распределительные пункты**, которые представляют собой электротехнические устройства, состоящие из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики. В сетях напряжением до 1кВ применяются: распределительные щиты, панели, силовые пункты, ящики, осветительные щитки и др.

Если требуется большее число присоединений и большая распределяемая мощность, то используются более громоздкие и более дорогие распределительные щиты, которые комплектуются из отдельных панелей (вводных, секционных, торцевых и др.). Устанавливают их на трансформаторных подстанциях, в машинных залах и на электростанциях. Щиты изготавливают в открытом и закрытом исполнении, которые состоят из панелей, устанавливаемых в специальных электротехнических помещениях. Щиты закрытого исполнения располагаются в цехах промышленных предприятий.

В силовых электрических сетях распределительные пункты с небольшим количеством присоединений часто называют силовыми пунктами (шкафами). Эти пункты являются границей между силовыми питающими и силовыми распределительными сетями и выполняют две функции: распределения электроэнергии и защиты линий силовых распределительных сетей. В зависимости от используемых защитных аппаратов различают два вида силовых пунктов.

Силовые пункты с плавкими предохранителями, например, типа ШР-11 (рисунок 4.3). Шкафы представляют собой металлический корпус с дверью, внутри которого установлена съемная сборка, представляющая собой раму с вводным рубильником, и предохранителями отходящих линий. Эти силовые

пункты отличаются небольшой стоимостью и, естественно, некоторыми неудобствами в эксплуатации, возникающими при замене сгоревших предохранителей. Имеют 5-8 трехполюсных групп предохранителей серии ПН2 или ППН на номинальные токи 100, 160, 250 и 400 А и вводной рубильник, с помощью которого отключается напряжение при работе какого-либо электроприемника или при замене предохранителей требуется отключение всего силового пункта вводным рубильником.

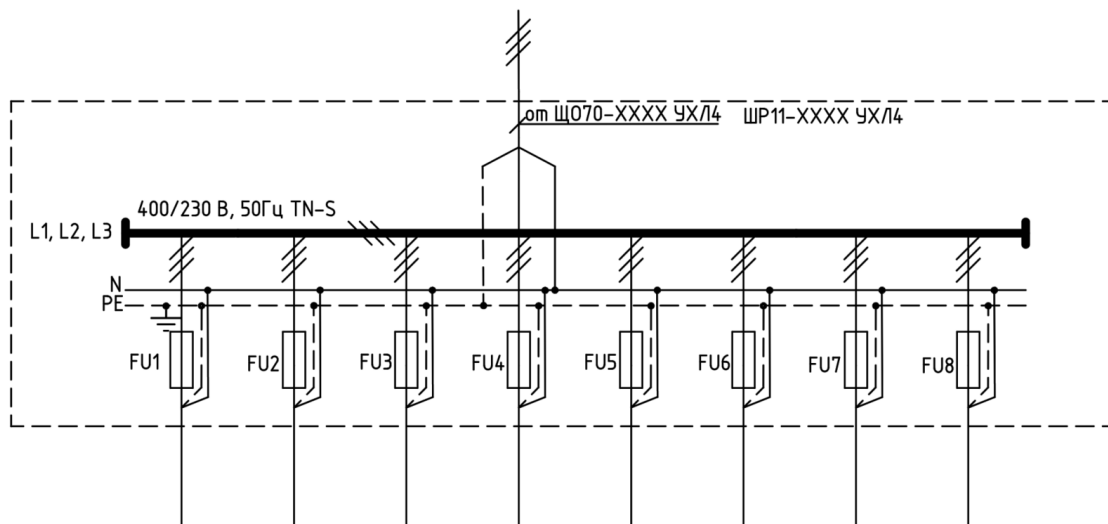


Рисунок 4.3. - Электрическая схема силового шкафа типа ШР

Второй тип - силовые пункты с автоматами, например, серий ПР8500, ПР8700, ПР11 (рисунок 4.4) с автоматами типа ВА, АЕ. Эти силовые пункты, естественно, дороже, но отличаются большими удобствами в эксплуатации, имеют от четырех до двенадцати трехполюсных автоматов для отходящих линий и, если необходимо, вводной автомат. Для восстановления питания по какой-либо отходящей линии после устранения неисправности в ней достаточно включить соответствующий автомат. При этом не нужно, как в первом случае, отключать весь силовой пункт.

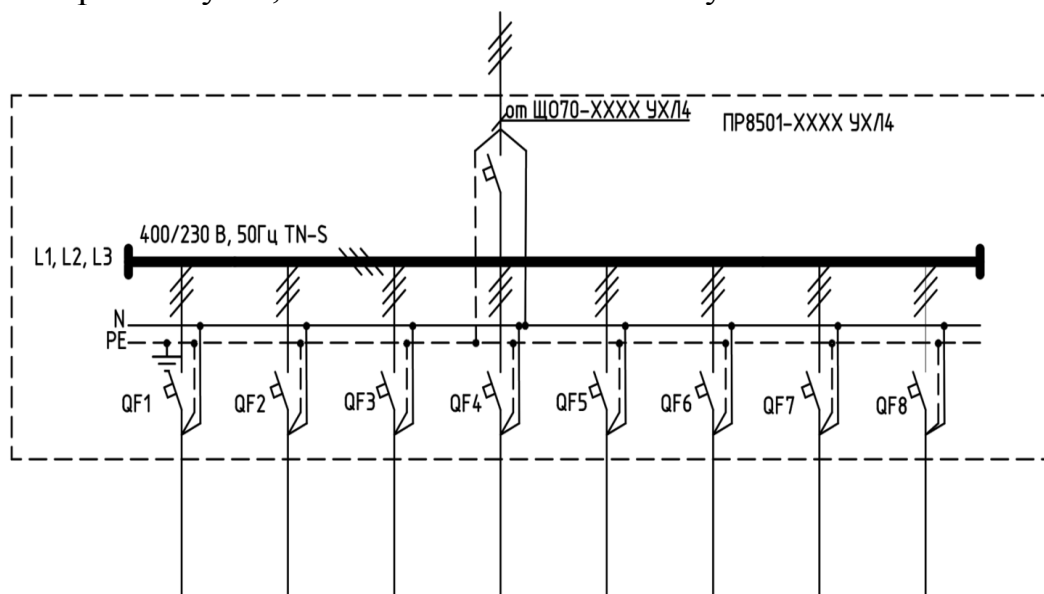


Рисунок 4.4. - Электрическая схема силового пункта типа ПР

В осветительных сетях производственных и административных зданий в качестве пунктов разветвления используются щитки осветительные, типа ОЦВ, ЩОА, оснащаемые трехполюсными и однополюсными автоматами. Они предназначены для распределения электрической энергии трехфазного переменного напряжением 400/230В, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания в групповых сетях и для нечастых включений и отключений электрических цепей.

Силовые пункты, содержащие лишь один аппарат и служащие для коммутации и защиты одной трехфазной линии напряжением 400/230 В, называются силовыми ящиками, например, ЯС, ШС, ЯУ, ЯРП, ЯВЗ. Они могут оснащаться рубильником, блоком рубильник-предохранитель, либо автоматом.

Выбор вида электрической сети напряжением до 1кВ зависит от размещения оборудования по площади цеха, требований по бесперебойности электроснабжения, условий окружающей среды, вероятности изменения технологического процесса, вызывающего замену оборудования, размещения цеховых ТП.

5. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ

Тема 5.1. Принципы построения защиты электроприемников

Сверхток – это ток, превышающий ток в нормальных условиях эксплуатации:

- ток длительной нагрузки;
- ток короткого замыкания.

От токов короткого замыкания защищаются практически все электрические сети и электроприемники.

От токов длительной перегрузки защищены следующие электросети внутри помещений:

- выполненные открыто проложенными проводами и кабелями с горючей изоляцией и оболочкой (полиэтилен и резина);
- осветительные сети жилых и общественных зданий, торговых помещений, служебно – бытовых помещений промышленных предприятий, включая сети для питания переносных и бытовых электроприемников, а также в пожароопасных зданиях;
- силовые сети, когда по условиям производственного процесса или по режиму работы сети возможны длительные перегрузки;
- электросети всех видов во взрывоопасных зонах классов В – I, В – Ia, В – II, В – IIa.

От токов КЗ защищают плавкие предохранители, автоматические выключатели с электромагнитным, комбинированным и полупроводниковым расцепителями.

От токов перегрузки защищают автоматические выключатели с тепловым, комбинированным и полупроводниковым расцепителями, а также тепловые реле, встроенные в магнитные пускатели.

Плавкие предохранители могут обеспечить защиту электрических сетей от длительных токовых перегрузок, кратность которых превышает 2.

Места установки защитных аппаратов должны определяться изменением сечения проводников, способа прокладки, конструктивного исполнения, если эти изменения приводят к снижению длительно допустимых токов.

Расчёт токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ

Для выбора коммутационных и защитных аппаратов, а также для выбора термической стойкости сечений жил кабелей, производится расчет токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Ограничение тока КЗ позволяет продлить срок службы кабелей, снизить количество отказов электрооборудования, повысить надежность электроснабжения потребителей электроэнергии и сократить затраты на энергообеспечение.

Заметное влияние на результаты расчета оказывают сопротивления различных контактных соединений. Так как достоверных данных о числе и сопротивлении контактов нет, то учитываем их совокупно, вводя в цепь КЗ дополнительные сопротивления следующей величины:

1. при КЗ на щите ТП – 15 мОм;
2. при КЗ на цеховых РП и зажимах аппаратов, питаемых радиальными и магистральными линиями от щитов ТП – 20 мОм;
3. при КЗ на вторичных цеховых РП, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РП – 25 мОм;
4. при КЗ на зажимах аппаратов, питаемых от вторичных РП – 30 мОм.

Для того чтобы найти величину тока КЗ на шинах до 1 кВ трансформаторной подстанции, а также в начале отходящей от шин кабельной линии, необходимо составить расчетную схему и схемы замещения для определения активного и индуктивного сопротивлений цепи КЗ, рисунки 5.1 и 5.2, на расчетной схеме намечаются точки, в которых необходимо рассчитать токи КЗ.

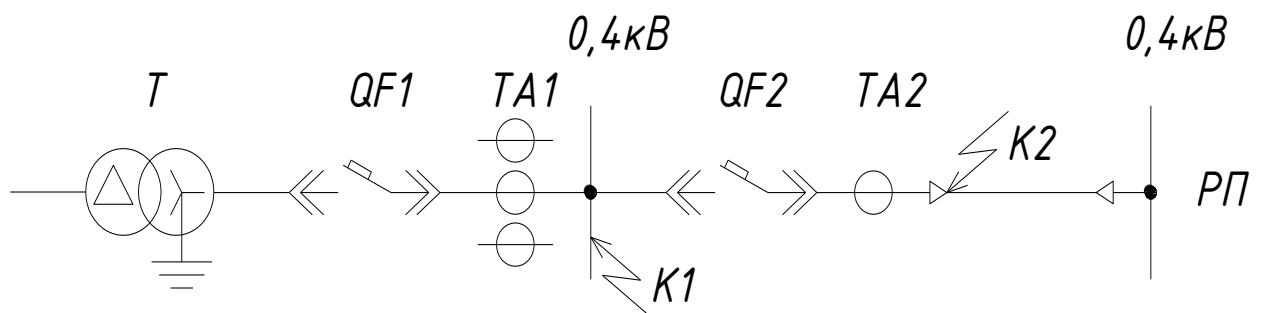


Рисунок 5.1. - Расчетная схема участка сети электроснабжения

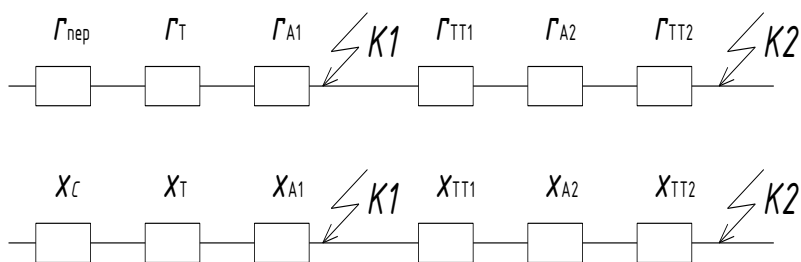


Рисунок 5.2. - Схемы замещения цепи КЗ

Сопротивление системы в мОм до понижающего трансформатора:

$$x_{CB} = \frac{U_{CB}}{\sqrt{3}I_{KB}''} \cdot 10^3,$$

где U_{CB} – среднее номинальное напряжение сети высшего напряжения, кВ;

I_{KB}'' – начальное значение периодической составляющей тока КЗ на выводах высшего напряжения трансформатора.

Сопротивление x_{CB} приводится к ступени низшего напряжения:

$$x_C = x_{CB} \frac{U_{CH}^2}{U_{CB}^2},$$

где U_{CH} – среднее номинальное напряжение сети, в которой рассчитывается ток КЗ, кВ.

Величиной x_C можно пренебречь, если она не превышает 5% полного сопротивления трансформатора цеховой ТП.

Активное сопротивление трансформатора, мОм:

$$r_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} \cdot 10^6,$$

где ΔP_K – потери КЗ в трансформаторе, кВт;

$S_{НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, кВ.

Индуктивное сопротивление трансформатора, мОм:

$$x_T = \left(\sqrt{\left(\frac{U_K}{100} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P_K}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2} \right) \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \cdot 10^6.$$

Сопротивления r_{A1} , x_{A1} ; r_{A2} , x_{A2} катушек максимального тока автоматических выключателе принимаем по таблицам справочной литературы.

Сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока r_{TT2} , x_{TT2} принимаем по таблицам справочной литературы. Сопротивления r_{TT1} и x_{TT1} согласно можно не учитывать, поскольку трансформаторы тока ТА1 рассчитаны на токи более 500 А.

Активные и индуктивные сопротивления проводов, кабелей, шин и шинопроводов длиной l подсчитываются по выражениям

$$r = r_0 \cdot l, \quad x = x_0 \cdot l,$$

где r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления.

Преобразование схемы для определения токов КЗ сводится к сложению последовательно соединенных активных и индуктивных сопротивлений элементов схемы:

$$r_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n r_i, \quad x_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n x_i,$$

где n – число элементов в цепи КЗ.

Ток трехфазного КЗ в кА вычисляется по выражению

$$I_K = \frac{U_{\text{СН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}}.$$

Ударный ток КЗ определяется как:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K.$$

Значение ударного коэффициента k_y находится по кривым в зависимости от x_{Σ}/r_{Σ} .

Действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ:

$$I_K^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СРН}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_{2\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x_{\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}},$$

где $r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ - суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности, мОм;

$r_{2\Sigma}$ и $x_{2\Sigma}$ - суммарное активное и индуктивное сопротивления обратной последовательности, мОм;

$r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ - суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности, мОм.

Сопротивления нулевой последовательности однофазных электрических аппаратов равны их сопротивлениям прямой последовательности. Трансформатор мощностью 1000 кВА имеет схему соединения обмоток Δ/Y . При такой схеме их активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности равны соответствующим сопротивлениям прямой последовательности.

Выбор аппаратов защиты на напряжении до 1 кВ. Выбор магнитного пускателя и контактора, теплового реле, предохранителя и автоматического выключателя производится по следующим условиям (3.1) – (3.18).

Тема 5.2. Выбор сечений проводников

Выбор и расчет проводов и кабелей. Сечение проводников силовых электрических сетей напряжением до 1 кВ выбираются по условию допустимого нагрева. При отсутствии в цехе ТП производится расчет по потере напряжения. В том случае, когда время использования максимума нагрузки $T_{\max} > 5000$ ч, производится проверка сечений проводников по экономической плотности тока.

Сечение проводников осветительных сетей выбираются по условию допустимого нагрева и по допустимой потере напряжения. Кабели проверяются на термическую стойкость.

Сечения проводников силовых и осветительных сетей должны соответствовать аппаратам максимальной токовой защиты. Кабели в электрических сетях до 1 кВ проверяются по термической стойкости.

Значения $I_{\text{доп}}$ для основных способов прокладки проводов и кабелей с приводятся в справочной литературе.

Изолированные провода и кабели выбираются по допустимому нагреву длительным расчетным током I_p по условию

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_{\text{п}},$$

где $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на допустимый ток, учитывающий фактические условия прокладки проводов и кабелей.

Для электрических сетей напряжением до 1кВ, как правило, поправочный коэффициент

$$K_{\text{п}} = K_1 \cdot K_2,$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных проводников.

Необходимо обеспечивать согласованность проводников и защитных устройств при защите электрических цепей от токов перегрузки. Для этого рабочая характеристика любого устройства, защищающего проводники от перегрузки, должна соответствовать следующим условиям:

$$I_p \leq I_{\text{ном з}} \leq I_{\text{доп}} ;$$

$$I_{\text{ср з}} \leq 1,45I_{\text{доп}} ,$$

где $I_{\text{ном з}}$ – номинальный ток устройства защиты (плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автомата);

$I_{\text{ср з}}$ - ток, обеспечивающий надежное срабатывание устройства защиты, который принимается равным току срабатывания автоматического выключателя или току плавления плавкой вставки предохранителя при заданном времени срабатывания устройства защиты.

По экономической плотности тока площадь сечения проводников $F_э$ проверяется по соотношению

$$F_э = I_p / j_э,$$

где $j_э$ - нормированное значение экономической плотности тока, А/мм².

Полученное экономическое сечение округляется до ближайшего стандартного значения.

По допустимой потере напряжения в обязательном порядке выбираются сечения проводников осветительных сетей.

При необходимости выбора сечения проводников трехфазной линии с учетом их индуктивного сопротивления можно воспользоваться следующей формулой:

$$F = \frac{Pl \cdot 10^5}{\gamma U_{\text{ном}}^2 (\Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{доп р}})} ,$$

где P – активная нагрузка линии, кВт;

l – длина линии, м;

γ - удельная проводимость материала проводника при действительной температуре жилы, м/(Ом·мм²);

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение линии, В;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустимая потеря напряжения в линии, %;

$\Delta U_{\text{доп р}}$ - допустимая потеря напряжения, обусловленная реактивной нагрузкой и индуктивным сопротивлением линии, %.

Величина реактивной составляющей допустимой потери напряжения вычисляется по формуле

$$\Delta U_{\text{доп р}} = \frac{Ql \cdot 10^5}{U_{\text{НОМ}}^2} x_0,$$

где Q – реактивная нагрузка линии, квар;
 x_0 – предварительно принятое индуктивное сопротивление одной фазы линии, Ом/м.

При отсутствии в здании трансформаторной подстанции силовые сети рассчитываются по потере напряжения. Для расчета потери напряжения в линии трехфазного тока напряжением до 1 кВ, выраженной в %, как правило, используется следующая формула:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot l (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi) / U_{\text{НОМ}},$$

где l – длина линии, км;
 r_0 и x_0 – соответственно активное и индуктивное погонные сопротивления линии, Ом/км;
 $\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки линии.

По *термической стойкости* к действию тока КЗ минимальное сечение жил кабелей определяется по выражению

$$F_T = \frac{\sqrt{B_k}}{C},$$

где B_k – тепловой импульс от тока КЗ, $A^2 \cdot c$;
 C – расчетный коэффициент, зависящий от материала жил проводника и его изоляции, $A \cdot c^{0,5} / \text{мм}^2$.

Тепловой импульс от тока КЗ определяется по формуле

$$B_k = I_k^2 \cdot t,$$

где I_k – действующее значение тока КЗ, А;
 t – время отключения тока КЗ, которое определяется по времятоковым характеристикам защитных аппаратов, с.

Выбор и расчет шинопроводов. Магистральные и распределительные шинопроводы выбираются таким образом, чтобы номинальный ток шинопровода $I_{\text{НОМ Ш}}$ был не менее его расчетного тока I_p , т.е.

$$I_{\text{НОМ Ш}} \geq I_p.$$

В магистральном шинопроводе (рисунок 5.3) потеря напряжения не должна превышать 1,5 – 1,8 %. Ее величина при одинаковых вычисляется по выражению

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot (r_{0\text{ш}} \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot \cos \varphi_i \cdot l_i + x_{0\text{ш}} \cdot \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot \sin \varphi_i \cdot l_i)}{U_{\text{ном}}},$$

где I_{pi} и l_i - расчетный ток (А) и длина (км) i -го участка шинпровода;
 $r_{0\text{ш}}$ и $x_{0\text{ш}}$ - удельные активное и реактивное сопротивления шинпровода, Ом/км;

$\cos \varphi_i$ - коэффициент мощности нагрузки i -го участка шинпровода;
 n - количество участков, на которых определяются потери напряжения;
 $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение сети, В.

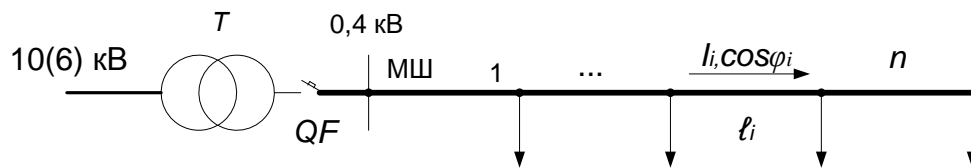


Рисунок 5.3- Расчетная схема магистрального шинпровода

Расчет распределительных шинпроводов ведется в предположении равномерно распределенной нагрузки по его длине. При этом значение расчетного тока шинпровода зависит от точки подключения к нему питающей линии (ПЛ). Возможные варианты подключения ПЛ к РШ показаны на рисунке 5.4.

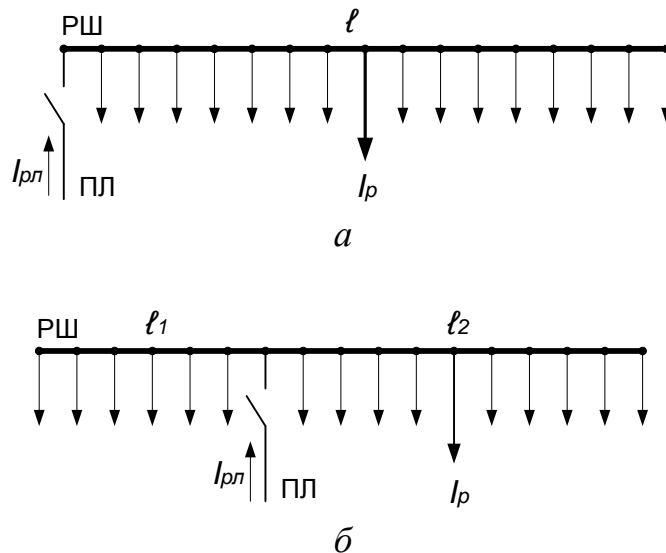


Рисунок 5.4- Расчетная схема распределительного шинпровода:
 a - присоединение ПЛ в начале РШ; $б$ - присоединение ПЛ на некотором расстоянии от начала РШ

Если ПЛ присоединяется в начале РШ (рисунок 5.4, a), то выбор шинпровода осуществляется по расчетному току группы электроприемников, питающихся от РШ, который определяется по формуле

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

где $S_{\text{рш}}$ – полная мощность расчетной нагрузки группы электроприемников, питающихся от шинпровода, кВ·А.

В этом случае выбор шинпровода производится с использованием тока $I_{\text{р}}=I_{\text{рш}}$, а длина расчетного участка шинпровода $l_{\text{р}}$, для которого производится расчет потери напряжения, принимается равной длине шинпровода l .

При подключении питающей линии не в начале шинпровода (рисунок 5.4, б) РШ выбирается по расчетному току его наиболее загруженного плеча от точки присоединения ПЛ до наиболее удаленного конца шинпровода. Расчетный ток участка, по которому производится выбор шинпровода по и расчет потери напряжения, можно найти по выражению

$$I_{\text{р}} = I_{\text{рш}} \frac{l_{\text{р}}}{l}.$$

При расчете потери напряжения в РШ нагрузка, равномерно распределенная по длине шинпровода, заменяется сосредоточенной нагрузкой $I_{\text{р}}$ той же величины, приложенной в середине расчетного участка. Потеря напряжения в РШ определяется по формуле

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot I_{\text{р}} \cdot l_{\text{р}}}{U_{\text{ном}}} (r_{0\text{ш}} \cdot \cos \varphi + x_{0\text{ш}} \cdot \sin \varphi),$$

где $I_{\text{р}}$ - расчетный ток распределительного шинпровода (или наиболее загруженного плеча РШ), А;

$l_{\text{р}}$ - расчетная длина шинпровода (или участка РШ), км;

$r_{0\text{ш}}$ и $x_{0\text{ш}}$ - удельные активное и реактивное сопротивления РШ, Ом/км;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки группы электроприемников, питающихся от распределительного шинпровода.

В распределительных шинпроводах с равномерной нагрузкой потеря напряжения не должна быть больше 2 – 2,5%.

Расчет троллейных линий. В результате расчета троллейных линий выбираются размеры угловой стали или номинальный ток комплектного троллейного шинпровода, удовлетворяющие условию нагрева и допустимой потери напряжения в момент пика нагрузки.

Выбор размеров угловой стали производится по длительно допустимому току стального троллея $I_{\text{доп}}$ по условию

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}},$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток троллея;

При выборе троллейного шинопровода необходимо, чтобы его номинальный ток $I_{\text{ном}}$ был не менее расчетного тока, т.е.

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}}.$$

Напряжение на зажимах крановых электродвигателей и в цепях управления ими во всех режимах работы электрооборудования крана, в том числе и при пиковом токе, должно быть не менее 85 % номинального значения.

Расчет потери напряжения (%) в троллейном шинопроводе (троллее из цветного металла) производится по следующей формуле:

$$\Delta U_{\text{T}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{пик}} \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_{\text{T}} \cdot \cos \varphi_{\text{T}} + x_{\text{T}} \cdot \sin \varphi_{\text{T}}),$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток линии, А;

r_{T} и x_{T} – активное и реактивное сопротивление расчетного участка троллея соответственно, Ом;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В;

$\cos \varphi_{\text{T}}$ – коэффициент мощности нагрузки троллея.

Значения r_{T} и x_{T} вычисляются по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} r_{\text{T}} &= r_{0\text{T}} \cdot l \cdot 10^{-3}; \\ x_{\text{T}} &= x_{0\text{T}} \cdot l \cdot 10^{-3}, \end{aligned}$$

где $r_{0\text{T}}$ и $x_{0\text{T}}$ – удельные активное и реактивное сопротивления троллейного шинопровода, Ом/км;

l – расстояние от точки подключения питающей линии до наиболее удаленного конца троллея, м.

Если от троллея питается только одна подъемно-транспортная установка, то пиковый ток, создаваемый крановыми двигателями, определяется по формуле

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск max}} + I_{\text{р}} - I_{\text{ном max}},$$

где $I_{\text{пуск max}}$ – наибольший из пусковых токов двигателей крана, принимаемый по паспортным или справочным данным при паспортном значении ПВ;

$I_{\text{ном max}}$ – номинальный ток двигателя, имеющего наибольший пусковой ток, приведенный к продолжительности включения ПВ=100%.

При питании от общего троллея нескольких крановых установок пиковый ток рассчитывается по выражению

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск max}} + I_{\text{р}} - k_{\text{и}} I_{\text{ном п max}},$$

где $k_{и}$ - среднее значение коэффициента использования крановой установки;

$I_{ном\ max}$ - номинальный паспортный ток двигателя с наибольшим пусковым током (без приведения к ПВ=100%).

Расчет потерь напряжения в % в стальных крановых троллеях производится по выражению

$$\Delta U = m \cdot l,$$

где m - удельная потеря напряжения, принимаемая по справочной литературе в зависимости от максимальной величины пикового тока, % / м.

Если уровни напряжения на зажимах крановых двигателей не удовлетворяют требованиям действующих нормативных документов (например, при большой протяженности троллейных линий и значительной их нагрузке), то применяют следующие меры для снижения потерь напряжения:

- увеличивают сечение троллея;
- изменяют схему питания троллейной линии, перенося точку подключения троллея ближе к его середине;
- применяют секционирование троллея с отдельным питанием секций;
- используют индукционную подпитку с помощью алюминиевой ленты.

Расчет индукционной подпитки выполняется по допустимой потере напряжения. Максимально допустимый пиковый ток в троллее можно рассчитать по следующей формуле:

$$I_{пт} = \frac{\Delta U_{д}}{\Delta U_{т} \cdot l \cdot 10^{-3}},$$

где $\Delta U_{д}$ - допустимая потеря напряжения в троллее, В;

$\Delta U_{т}$ - удельная допустимая потеря напряжения в троллее, В/(А·км), принимаемая по справочной литературе;

l – длина троллея от точки подключения до наиболее удаленного конца, м.

Допустимый пиковый ток в алюминиевой ленте определяется как разность пиковых токов нагрузки линии $I_{пик}$ и троллея $I_{пт}$

$$I_{пл} = I_{пик} - I_{пт}.$$

Соотношение пиковых токов троллея и ленты $I_{пт} / I_{пл}$ определяет сечение алюминиевой ленты, которая используется для подпитки троллея.

6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИЯХ ВЫШЕ 1 кВ

Тема 6.1. Источники питания электроэнергией

Промпредприятие может получать ЭЭ от энергосистемы и от собственных электростанций (генерирующих установок).

Наиболее экономичным и надежным является электроснабжение от сетей энергосистемы.

Собственные ЭС на промпредприятиях применяются в следующих случаях:

- при значительном потреблении тепловой энергии в процессе производства;
- при сжигании отходов производства в качестве топлива ЭС;
- при значительной удаленности предприятия от сетей энергосистемы;
- в случае технико – экономического обоснования.

Схемы электроснабжения должны строиться на основе следующих главных принципов:

1. максимальное приближение источников высокого напряжения к электроустановкам потребителей;
2. отказ от холодного резерва;
3. глубокое секционирование всех звеньев системы электроснабжения;
4. выбор режима работы (раздельная или параллельная) элементов системы электроснабжения.

Как правило, предусматривается раздельная работа. Параллельная работа элементов системы электроснабжения рекомендуется в следующих случаях:

1. при раздельной работе не удастся обеспечить успешный самозапуск электродвигателей;
2. при питании секций подстанции от разных ИП возможно их несинхронное включение при работе устройств АВР;
3. при питании мощных резко переменных и ударных нагрузок.

В послеаварийных режимах элементы системы электроснабжения могут быть перегружены в пределах, регламентированных ПУЭ.

Главная понизительная подстанция и распределительные пункты), назначение и конструктивное выполнение ГПП и РП.

В СЭС промышленных предприятий на ГПП и ПГВ преимущественно используются трансформаторы с номинальной мощностью 32, 40, 63 и 80 МВ·А. Трансформаторы меньшей мощности целесообразны на предприятиях с нагрузками, рассредоточенными на большой территории (например, горнорудные предприятия, карьеры и т.п.).

ГПП и РП служат для приема и распределения ЭЭ.

Подстанция (ПС) – электроустановка, состоящая из трансформаторов, распределительных устройств, устройств защиты, автоматики и вспомогательных помещений.

Распределительное устройство (РУ) служит для распределения ЭЭ и состоит из сборных и присоединительных шин, коммутационных аппаратов, электроизмерительных приборов, устройств защиты и автоматики.

Главная понизительная подстанция (ГПП) подстанция напряжением более 35 кВ (первичное напряжение), находящаяся на балансе предприятия и осуществляющая электроснабжение предприятия или его части.

На предприятиях, как правило, применяются ГПП с двумя трансформаторами с высшим напряжением 110 Кв.

На средних и крупных промышленных предприятиях для приема и распределения электроэнергии на напряжении 6-10 кВ применяются распределительные пункты (РП), к которым подключаются ТП и высоковольтные электроприемники. РП выполняются в виде комплектных РУ напряжением 6-10 кВ.

Распределительный пункт (РП) – устройство, предназначенное для приема и распределения ЭЭ на одном напряжении без ее трансформации и преобразования, не входящая в состав ПС.

Выпускаемые промышленностью комплектные распределительные устройства внутренней установки имеют два принципиально различных конструктивных исполнения камер:

- 1) стационарные одностороннего обслуживания (камеры типа КСО), которые сзади не имеют защитной стенки и устанавливаются у стены здания;
- 2) выкатные (камеры типа КРУ), в которых высоковольтные выключатели размещаются на специальной тележке.

Распределительные пункты напряжением 6-10 кВ рекомендуется располагать с учетом условий производства и окружающей среды внутри производственных зданий или пристраивать к ним.

Выбор места РП в первую очередь определяется наличием на предприятии электродвигателей напряжением выше 1 кВ или электрических печей с трансформаторами. Если высоковольтных электроприемников не имеется, то место расположения РП выбирается на генплане предприятия по возможности смещенным от ЦЭН в сторону ИП так, чтобы не было обратных потоков электроэнергии по линиям напряжением 6–10 кВ (рисунок 6.1).

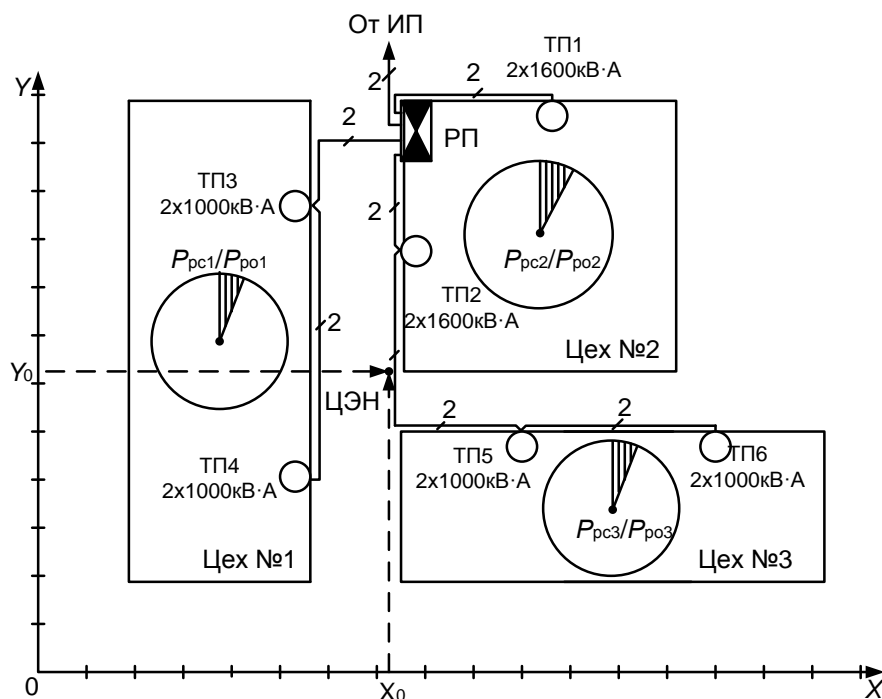


Рисунок 6.1-Схема размещения РП и ТП напряжением 10(6)/0,4 кВ на генеральном плане предприятия:

2-количество линий, выполненных трехжильными кабелями

Понижающие подстанции (ГПП и ПГВ) стремятся размещать по возможности ближе к центрам электрических нагрузок питаемых ими промышленных объектов с учетом условий планировки, прохождения воздушных линий напряжением 35 – 220 кВ по территории предприятия, состояния окружающей среды и т.п.

Промышленные электростанции (блок – станции) устанавливаются в центре нагрузок промышленного предприятия.

Мощность генераторов на таких станциях обычно небольшая.

Тема 6.2. Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ

Надежность и эффективность систем электроснабжения в значительной степени зависят от выбранного режима нейтрали электрических сетей разных напряжений (рисунок 6.2).

Электроустановки трехфазного тока в отношении мер электробезопасности подразделяются на следующие виды:

– напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью (рисунок 6.2,а);

– напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной (рисунок 6.2,б), заземленной через дугогасящий реактор (рисунок 6.2,в) или резистор (рисунок 6.4,г) нейтралью.

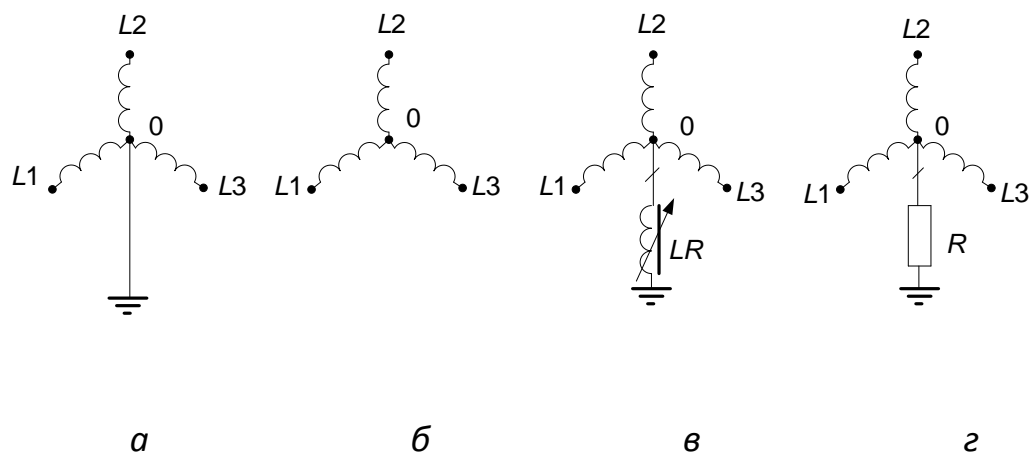


Рисунок 6.2–Нейтрали трехфазных электроустановок:
а- глухозаземленная и эффективно заземленная; *б* – изолированная; *в* –
 заземленная через дугогасящий реактор LR ; *г* –заземленная через резистор R

При *глухом заземлении нейтрали* (рисунок 6.2,*а*) нейтральная точка источника питания (генератора, трансформатора) соединяются непосредственно с заземляющим устройством. В этом случае любые однофазные замыкания являются короткими и приводят к отключению электроустановки, в которой произошло КЗ. Ток КЗ ограничивается только относительно небольшими сопротивлениями источника питания и элементов сети, включая землю. Этот ток практически не зависит от величины сопротивления изоляции и емкости проводников относительно земли. Токи замыкания на землю имеют большие значения, поскольку поврежденная фаза оказывается короткозамкнутой на землю через нейтраль.

В электроустановках с *изолированной нейтралью* (рисунок 6.2,*б*), нейтраль генераторов или трансформаторов изолированы от земли.

В нормальном режиме напряжения фаз на зажимах установок симметричны и численно равны фазному напряжению, а геометрическая сумма емкости токов фаз, замыкающих на землю, равна нулю

$$I_{сн1} + I_{сн2} + I_{сн3} = 0,$$

где $I_{сн1}, I_{сн2}, I_{сн3}$ - соответственно емкостные токи фаз $L1, L2, L3$ в нормальном режиме.

При однофазном замыкании на землю в трехфазной сети с изолированной нейтралью, с поврежденной фазы на землю стекает ток, величина которого равна утроенному значению емкостного тока в нормальном режиме.

В электроустановках с *компенсированной нейтралью* (рисунок 6.2,*в*) для компенсации емкостных токов замыкания на землю используются специальные катушки индуктивности, имеющие индуктивное сопротивление, близкое к емкостному сопротивлению сети. Эти катушки включаются между нейтралью электроустановок и заземляющими устройствами. Применение в электроустановках компенсации емкостных токов замыкания на землю

способствует быстрому гашению электрической дуги в месте замыкания, поэтому эти устройства называются дугогасящими катушками или дугогасительными реакторами.

В электроустановках с *резистивным заземлением* между нейтральной точкой источника питания и заземляющим устройством включается специальное активное сопротивление (рисунок 6.2,з). Это может осуществляться в сетях как с изолированной нейтралью, так и с компенсированной.

В нормальном режиме работы электроустановки в идеале напряжение нейтрали равно нулю. Реально на нейтрали, как правило, наблюдается некоторое напряжение смещения. Следовательно, через сопротивление протекает ток небольшой величины.

В случае однофазного замыкания на землю на нейтрали электроустановки появляется фазное напряжение U_{ϕ} . При этом в резисторе и в месте повреждения изоляции возникает активный ток, определяемый по формуле:

$$I_R = \frac{U_{\phi}}{R_T}.$$

Тема 6.3. Схемы внутризаводского электроснабжения

Выбор схем и конструктивного исполнения электрических сетей внешнего и внутризаводского электроснабжения производится путем сравнения нескольких вариантов на основе технико-экономических расчетов.

При радиальной схеме внешнего электроснабжения производственного объекта в качестве пункта приема электроэнергии используется РП или ЦРП. В этом случае не требуются понижающие трансформаторы, что удешевляет СЭС промышленного предприятия. Радиальные схемы получили широкое распространение в СЭС промышленных объектов. Они применяются при незначительном удалении промышленного предприятия от ИП (до нескольких километров).

Для электроснабжения крупных промышленных предприятий, а также объектов, удаленных от источников питания энергосистемы на значительное расстояние необходимо сооружать ГПП. Наиболее часто применяются ГПП с двумя понижающими трансформаторами с высшим напряжением 110 кВ, значительно реже – с напряжением 35, 220 и 330 кВ.

Схемы распределения сетей напряжением 6-10 кВ системы внутризаводского электроснабжения предназначены для питания приемников и потребителей электроэнергии, расположенных на территории промышленного объекта. Они могут быть радиальными, магистральными и смешанными (комбинированными). В упрощенном виде указанные схемы на плане предприятия приведены на рисунке 6.3.

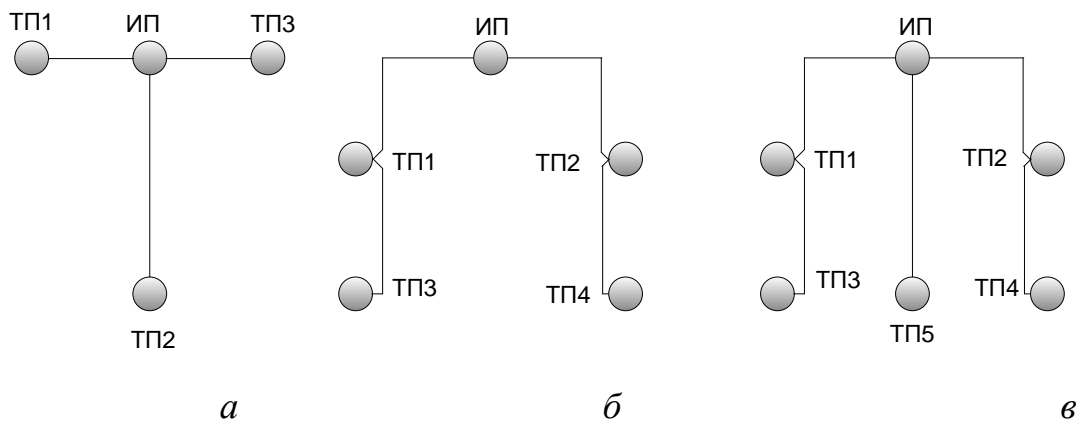


Рисунок 6.3 - Схемы распределительных сетей напряжением 6-10 кВ:
а – радиальная; *б* – магистральная; *в* – смешанная.

Радиальные схемы (рисунок 6.3, *а*) применяются в тех случаях, когда нагрузки расположены в различных направлениях от источника питания. Они используются для питания крупных сосредоточенных нагрузок (насосные и компрессорные станции, электропечи и т.п.), а также цеховых ТП, расположенных вблизи (до 100 м) от РП.

Магистральные схемы распределительных сетей (рисунок 6.3, *б*) позволяют уменьшить число звеньев коммутации, что является их основным преимуществом в сравнении с радиальными. Данные схемы целесообразны при распределенных нагрузках, при упорядоченном, приближающемся к линейному, расположении ТП на территории промышленного объекта. При формировании магистральной схемы следует стремиться к тому, чтобы линии от ИП до потребителей прокладывались без значительных обратных направлений. При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий отказ от магистральных схем должен быть обоснован.

Наибольшее распространение на практике получили смешанные схемы (рисунок 6.3, *в*), при которых питание крупных и ответственных приемников и потребителей электроэнергии производится по радиальной схеме, а средних и мелких, при упорядоченном расположении ТП, по магистральным линиям. Такие комбинированные схемы внутризаводского электроснабжения, как правило, имеют лучшие технико-экономические показатели.

При выборе схемы электроснабжения намечают 2-3 возможных варианта, из которых на основе технико-экономических расчетов выбирают вариант, имеющий лучшие технико-экономические показатели. При небольшой разнице приведенных затрат (до 10%) предпочтение следует отдавать магистральным схемам.

Глубоким вводом называется система электроснабжения с максимально возможным приближением источников высокого напряжения 35-220 кВ к электроустановкам потребителей электроэнергии с минимальным количеством трансформаций и электрических аппаратов. При глубоком вводе происходит разукрупнение ГПП и прием электроэнергии децентрализуется. Максимальный эффект разукрупнения подстанций дает при нагрузках, размещенных в нескольких пунктах на значительной территории. При этом

подстанции глубокого ввода (ПГВ) выполняются по простейшим схемам (без выключателей на стороне первичного напряжения). В системе глубокого ввода не требуются промежуточные РП, функции которых выполняют РУ 6-10 кВ ПГВ, размещенные на первых этажах производственных объектов.

Глубокие вводы могут выполняться по двум схемам:

а) в виде магистральных воздушных линий электропередачи, проходящих в зонах основных нагрузок и питающих несколько (до пяти) ПГВ напряжением 35-220 кВ (рисунок 6.4);

б) в виде радиальных воздушных или кабельных линий, питающих ПГВ от узловой распределительной подстанции (УРП) напряжением 330-750 кВ (рисунок 6.5).

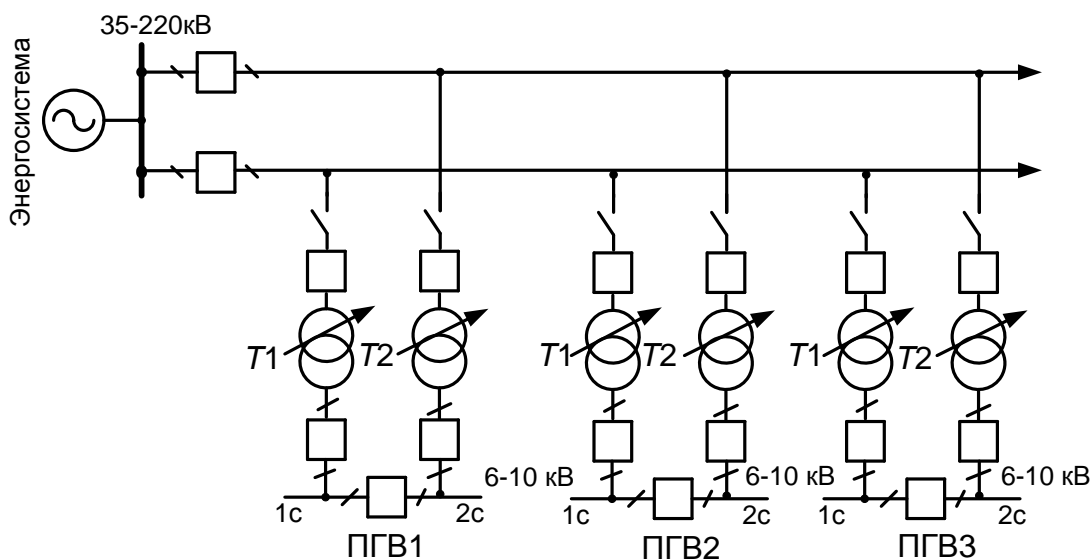


Рисунок 6.4 - Магистральная схема электроснабжения предприятия с применением системы глубокого ввода

Магистральные глубокие вводы целесообразны при малозагрязненной окружающей среде, когда по условиям генплана допустимо прохождение ВЛ по территории предприятия и размещение ПГВ возле соответствующих групп электроприемников.

Не рекомендуется присоединять к одной магистрали напряжением 35-220 кВ более четырех ПГВ с трансформаторами мощностью 16-25 МВ·А и более трех подстанций с трансформаторами большей мощности.

Радиальные глубокие вводы (рисунок 4.10) обычно применяются при загрязненной окружающей среде. Линии глубокого ввода могут быть воздушными и кабельными. Кабельные радиальные вводы особенно целесообразны при стесненной территории предприятия и наличии сооружений, препятствующих прокладке воздушных линий электропередачи высокого напряжения и размещению более громоздких подстанций, присоединяемых к линиям с помощью отпаек.

На рисунке 6.5 показана радиальная схема глубокого ввода с использованием ПГВ с присоединением трансформаторов к питающим линиям, имеющим относительно небольшую длину, с помощью переключек.

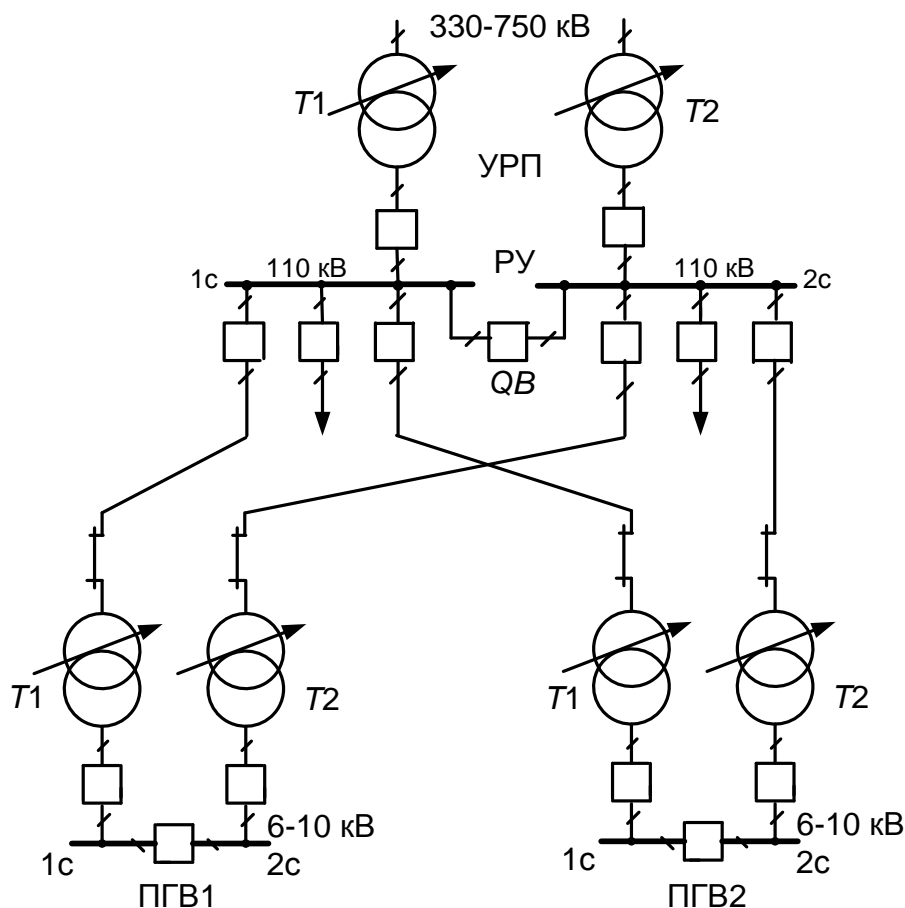


Рисунок 6.5 - Радиальная схема электроснабжения предприятия с применением системы глубокого ввода

Схемы глубоких вводов по надежности не уступают громоздким схемам централизованного электроснабжения, являясь при этом более простыми и дешевыми. Они пригодны для питания промышленных объектов, имеющих в своем составе электроприемники любых категорий.

Выбор сечений проводников систем электроснабжения.

Сечения жил кабеля выбираются по экономической плотности тока и проверяются по допустимому нагреву и по термической стойкости при КЗ.

При проектировании линий электропередачи напряжением до 220 кВ сечения проводников, как правило, выбираются по экономической плотности тока $j_э$.

Для выбора кабеля по экономической плотности тока пользуются формулой:

$$F_э = \frac{I_p}{j_э},$$

где I_p – расчетный ток в нормальном режиме, А;
 j_s – экономическая плотность тока (А/мм²), принимаемая с справочной литературе в зависимости от времени использования максимальной нагрузки и вида изоляции и материалов жил проводника.

Сечения кабелей напряжением выше 1 кВ, выбранных по экономическим критериям, проверяются *по допустимому нагреву*.

Для кабелей с изоляцией из СПЭ и поливинилхлорида длительно допустимые токи указываются при температуре жил:

$$\Theta_{\text{доп СПЭ}} = 90^{\circ} \text{С};$$

$$\Theta_{\text{доп ПВХ}} = 65^{\circ} \text{С} \text{ – при } U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ};$$

$$\Theta_{\text{доп ПВХ}} = 60^{\circ} \text{С} \text{ – при } U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}.$$

Сечения жил кабелей, которые в послеаварийных или ремонтных режимах могут работать с перегрузкой (например, линий, питающих РП или двухтрансформаторные ТП), проверяются по допустимому нагреву по условию:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_{\text{ра}}}{K_{\text{пер}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}.$$

где $I_{\text{ра}}$ – расчетный ток линии в послеаварийном или ремонтном режиме,
 А.

$$I_{\text{ра}} = 2 \cdot I_p.$$

$K_{\text{пер}}$ – кратность перегрузки, для кабелей из СПЭ, проложенных в воздухе $K_{\text{пер}} = 1,20$, в земле $K_{\text{пер}} = 1,17$.

K_1, K_2, K_3 — поправочные коэффициенты на допустимый ток, соответственно учитывающие фактическую температуру окружающей среды, число работающих кабелей, проложенных рядом, фактическое удельное тепловое сопротивление земли.

Сечение жил кабелей, питающих цеховые подстанции с одним трансформатором, по допустимому нагреву проверяются по условию:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}$$

При питании однострансформаторных подстанций кабели должны длительно выдерживать номинальный ток, присоединенных к ним трансформаторов, определяемый по формуле:

$$I_{\text{доп}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} S_{\text{ном}i}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение кабельной линии, кВ;
 $S_{\text{ном}i}$ – номинальная мощность i -го трансформатора, кВ·А;
 $N_{\text{т}}$ – количество трансформаторов, питающихся по линии в нормальном режиме.

Если номинальный ток от трансформаторов $I_{\text{ном}}$ оказывается больше расчетного тока в нормальном режиме, то принимается $I_{\text{р}} = I_{\text{ном}}$.

Минимальное допустимое сечение жил кабеля с бумажной пропитанной изоляцией проверяется по условию *нагрева током короткого замыкания (по термической стойкости)* определяется по выражению:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C},$$

где $B_{\text{к}}$ – тепловой импульс тока КЗ, $\text{А}^2 \cdot \text{с}$;

C – расчетный коэффициент, зависящий от материала жил проводника и его изоляции, $\text{А} \cdot \text{с}^{0.5}/\text{мм}^2$.

Тепловой импульс тока КЗ можно определить по выражению:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}),$$

где $I_{\text{п}}$ – действующее значение периодической составляющей начального тока КЗ, А;

$t_{\text{отк}}$ – время отключения тока КЗ, с;

$T_{\text{а}}$ – время затухания аperiodической составляющей тока КЗ, которую в распределительных сетях 6...10кВ при отсутствии конкретных данных приближённо можно принять $T_{\text{а}} = 0,01\text{с}$.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена проверяются на термическую стойкость по допустимому однократному току КЗ $I_{1\text{с}}$, значения которого для разных сечений токопроводящих жил задаются заводами-изготовителями и приводятся в технической документации на кабельную продукцию. Проверка осуществляется по условию:

$$k \cdot I_{1\text{с}} \geq I_{\text{п}}, \quad (6.1)$$

где k – поправочный коэффициент на допустимый ток, учитывающий фактическую продолжительность тока КЗ, определяемый по формуле:

$$k = \frac{1}{\sqrt{t_{\text{отк}}}}. \quad (6.2)$$

С учетом выражения (6.2) условие (6.1) представим в следующем виде:

$$I_{1\text{с}} \geq \sqrt{t_{\text{отк}}} I_{\text{п}}.$$

Сечение экрана кабеля проверяется на термическую стойкость к действию тока двухфазного КЗ по условию:

$$k \cdot I_{1сэ} \geq I_{п}^2, \quad (6.3)$$

где $I_{1сэ}$ – допустимый односекундный ток КЗ в экране кабеля, кА;
 $I_{п}^2$ – действующее значение периодической составляющей начального тока двухфазного КЗ.

Формулу (6.3) можно записать в виде:

$$I_{1сэ} \geq \sqrt{t_{отк}} I_{п}^2.$$

Ток двухфазного КЗ определяется по выражению:

$$I_{п}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{п}.$$

В общем случае допустимый односекундный ток в экране кабеля определяется по следующей формуле:

$$I_{1сэ} = 0,203 \cdot F_{эк}, \quad (6.4)$$

где $F_{эк}$ – площадь поперечного сечения экрана кабеля, мм².
 С учетом выражения (6.4) формулу (6.3) можно записать в виде:

$$0,203 \cdot k \cdot F_{эк} = I_{п}^2. \quad (6.5)$$

Из формулы (6.5) выразим площадь сечения защитного экрана:

$$F_{эк} \geq \frac{I_{п}^2}{0,203 \cdot k}. \quad (6.6)$$

По условию (6.6) принимается ближайшее большее стандартное сечение экрана.

В сетях напряжением выше 1 кВ применяются преимущественно трехжильные кабели, а на линиях с большой пропускной способностью – одножильные. Как правило, применяются кабели с алюминиевыми жилами, кабели с медными жилами должны использоваться обоснованно. Кабели выполняются с бумажной пропитанной изоляцией (марки ААШв, ААБл, ААБ2л, АСБ и др.) и с изоляцией из сшитого полиэтилена (марки АПвП, АПвВ и др.).

Трассы кабельных линий намечаются вдоль зданий и проездов с учетом наименьшего расхода кабелей. При этом следует обеспечивать наиболее дешёвую защиту кабелей от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и других негативных воздействий. Пересечение кабелей друг с другом, трубопроводом и другими инженерными коммуникациями должны

быть сведены к минимуму. Для питания электроприемников первой категории по надежности электроснабжения кабельной линии прокладываются по разным трассам.

Кабели могут прокладываться скрыто в земле, открыто на металлоконструкциях, в лотках, коробах, по строительным элементам зданий и сооружений, а также в специальных кабельных сооружениях: блоках, каналах, туннелях, эстакадах, галереях и т.д. Способ прокладки зависит от количества совместно располагаемых кабелей, условий трассы, степени загрязненности и агрессивности окружающей среды, экономичности, доступности кабелей для осмотров и обслуживания и других факторов.

Внутри производственных зданий и кабельных сооружений кабели прокладываются на стальных конструкциях различного исполнения. Для удобства монтажа и эксплуатации электрических сетей часто применяются кабеленесущие устройства (полки, лотки, коробки и т.д.). Внутри помещений кабеленесущие устройства располагаются, как правило, под потолком или вдоль стен.

7. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Тема 7.1. Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах

Вычисление токов короткого замыкания (КЗ) производится с целью:

- 1) выбора электрических аппаратов;
- 2) проверки устойчивости элементов схемы при электродинамическом и термическом действии токов КЗ;
- 3) расчета релейной защиты.

Расчетным видом КЗ является трехфазное, т. к. при нем обычно получаются большие значения сверхпереходного и ударного токов, чем при двухфазном и однофазном. Токи КЗ должны рассчитываться на всех напряжениях в таких точках схемы, где они имеют наибольшие значения (сборные шины подстанции, РП).

Для вычисления токов КЗ составляется расчетная схема, включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранным точкам. На схеме включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранным точкам. На схеме приводятся основные параметры оборудования, которые потребуются для последующего расчета. По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой каждый элемент заменяется своим сопротивлением. Генераторы, трансформаторы, высоковольтные линии и короткие участки распределительных сетей обычно представляются индуктивными сопротивлениями. Активные сопротивления учитываются, если $R_{\Sigma} / X_{\Sigma} > \frac{1}{3}$, где R_{Σ}, X_{Σ} - соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи.

Расчет токов КЗ может выполняться в относительных или именных единицах. В сетях напряжением выше 1 кВ наибольшее распространение получил метод расчета в относительных величинах, при котором все расчетные данные приводятся к базисным напряжению и мощности. За базисные напряжения $U_б$ принимаются средние номинальные напряжения $U_{ср} = 0,23; 0,4; 0,69; 6,3; 10,5; 21; 37; 115; 230$ кВ.

В качестве базисной мощности $S_б$ может выбираться мощность источника питания (ИП), мощность короткого замыкания на шинах подстанции или любое удобное для расчетов число.

Приведение сопротивлений к базисным условиям производится по следующим формулам.

Генераторов:

$$X_{г} = X''_d \frac{S_б}{P_{ном}} \cos f_{ном},$$

где X''_d – сверхпереходное относительное индуктивное сопротивление;

$P_{ном}$ - активная номинальная мощность, МВт;

$\cos f_{ном}$ - номинальное напряжение коэффициента мощности генератора.

Двухобмоточных трансформаторов:

$$X_{т} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{нт}},$$

где $U_{к}$ - напряжение короткого замыкания, %;

$S_{нт}$ - номинальная мощность трансформатора, МВ · А.

Для трансформаторов с расщепленной обмоткой схема замещения состоит из двух лучей, сопротивление которых:

$$X_{тр} = \frac{1,875 \cdot U_{к} \cdot S_б}{100 \cdot S_{нт}}.$$

Воздушных и кабельных линий:

а) индуктивное сопротивление

$$X_{л} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2},$$

где x_0 – удельное индуктивное сопротивление, Ом/км;

l – длина линии, км.

б) активное сопротивление

$$R_{\text{Л}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2}.$$

Схема замещения после преобразования должна содержать между ИП и точкой КЗ результирующее сопротивление $X_{\text{рез}}$. При питании от энергосистемы ток и мощность короткого замыкания определяются по следующим выражениям:

$$I_{\text{к}} = \frac{I_6}{X_{\text{рез}}};$$

$$S_{\text{к}} = \sqrt{3} U_{\text{ср}} \cdot I_{\text{к}},$$

где I_6 - базисный ток, определяемый по выбранной базисной мощности S_6 :

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}$$

Если мощность ИП выражается конечной величиной, то определение тока КЗ ведется по кривым. При наличии электродвигателей 10(6) кВ необходимо учитывать их влияние на величину сверхпереходного тока КЗ.

8. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКЦИЯ МОЩНОСТИ

8.1. Потребители реактивной мощности

Одним из основных вопросов, решаемых как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации СЭС промышленных объектов, является компенсация реактивной мощности (РМ), включающая выбор целесообразных источников, расчет их мощности, определение мест размещения средств компенсации РМ в системе электроснабжения. Передача РМ на значительные расстояния от мест генерации до точек потребления связана с увеличением тока элементов СЭС, а значит с дополнительными потерями активной мощности и напряжения, что существенно ухудшает технико-экономические показатели СЭС.

Реактивная мощность электрических сетей и электрических цепей электроприемников препятствует изменению параметров электроэнергии. Индуктивности препятствуют любому изменению тока в них, а емкости – изменению напряжения. Данное препятствие заключается в том, что указанные элементы в определенные интервалы времени «запасают» и «отдают» электроэнергию. В сетях переменного тока это приводит к колебательному процессу обмена энергией между индуктивностями и емкостями, рассредоточенными между элементами электростанций,

подстанций, ЛЭП и электроприемниками. Эта доля энергии называется реактивной энергией.

Таким образом, индуктивности являются потребителями реактивной энергии, а емкости – ее источниками. Если рассматривать систему электроснабжения в широком смысле, начиная от шин генераторного напряжения и заканчивая электроприемниками, структура потребления реактивной мощности примерно выглядит так:

- трансформаторы – 45% от общего потребления;
- асинхронные электродвигатели – 35%;
- линии электропередачи и электрические сети напряжением до 1 кВ – 13%;
- прочие потребители – 7%.

В системах электроснабжения промышленных предприятий доля отдельных видов электроприемников и электрооборудования в общем потреблении реактивной мощности в среднем составляет следующие значения:

- асинхронные электродвигатели – 60-65%;
- трансформаторы – 20-25%;
- вентильные преобразователи, электротехнологические установки, реакторы, газоразрядные источники света, электрические сети и прочие электроприемники – 10-20%.

Активная мощность, генерируемая электростанциями, способна совершать работу и преобразовываться в механическую, тепловую, световую и химическую энергию. Эта мощность обусловлена преобразованием энергии первичного двигателя, полученного от природного источника, в электроэнергию. Реактивная мощность не требует для своего производства затрат каких-либо видов энергии, не преобразовывается в другие виды мощности, не совершает работу.

Несмотря на специфические особенности, в электроэнергетике РМ придают такой же смысл, что и активной мощности. Для неё приняты такие же понятия: потребление, генерирование, передача, потери и баланс мощности. При этом считается, что если ток отстаёт по фазе от приложенного к рассматриваемому элементу напряжения (индуктивный характер нагрузки), то РМ потребляется данным элементом и имеет положительный знак. В том случае, когда ток опережает напряжение (ёмкостный характер нагрузки), РМ генерируется и имеет отрицательное значение.

Реактивная мощность генерируется генераторами электростанций, линиями электропередачи, синхронными компенсаторами и синхронными электродвигателями, батареями статических конденсаторов, статическими источниками РМ и т.д.

Концентрация производства РМ во многих случаях не является эффективной, так как её передача по электрическим сетям снижает пропускную способность линий и трансформаторов по активной мощности и вызывает дополнительные потери активной мощности и напряжения.

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения стремятся снизить потребляемую промышленными предприятиями РМ до оптимального значения. С этой целью осуществляется компенсация РМ, под которой понимается установка местных источников РМ, благодаря чему повышается пропускная способность элементов систем электроснабжения по активной мощности, снижаются потери мощности и энергии, повышаются уровни напряжения.

На промышленных предприятиях для компенсации реактивной мощности применяются: батареи статических конденсаторов, синхронные двигатели и генераторы, синхронные компенсаторы, компенсационные преобразователи, статические источники реактивной мощности (ИРМ).

При заданной мощности компенсирующих устройств в первую очередь должны быть использованы конденсаторы и синхронные двигатели, а при больших реактивных нагрузках - синхронные компенсаторы. На ртутных и кремниевых преобразовательных подстанциях целесообразно применять компенсационные преобразователи. При резко переменных и ударных реактивных нагрузках могут использоваться статические ИРМ.

Синхронные электродвигатели

На производственных объектах для привода мощных технологических агрегатов, не требующих регулирования частоты вращения механизмов, широко применяются высоковольтные синхронные двигатели. В режиме перевозбуждения они способны отдавать реактивную мощность в электрическую сеть при полной нагрузке на валу, допускают форсировку возбуждения и регулирование в широком диапазоне отдаваемой РМ, по сравнению с конденсаторными батареями меньше зависят от колебаний напряжения.

Величина РМ, генерируемой СД, зависит от загрузки двигателя по активной мощности и от напряжения на его зажимах. Наибольшее значение РМ, которое может быть получено от СД, определяется по формуле

$$Q_M = \alpha Q_{дн},$$

где α - наибольшая допустимая загрузка СД по реактивной мощности;
 $Q_{дн}$ - номинальная РМ СД, определяемая по выражению

$$Q_{дн} = P_{дн} \operatorname{tg} \varphi_n,$$

где $P_{дн}$ - номинальная активная мощность СД;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ - номинальный коэффициент реактивной мощности СД, $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,48$.

Особенно эффективны как источники РМ быстроходные СД с частотой вращения $n > 1000 \text{ мин}^{-1}$, а также двигатели с номинальной мощностью $P_{дн} > 2500 \text{ кВт}$ с любой частотой вращения. Эти СД рекомендуется применять для компенсации РМ без технико-экономических расчетов, так как они при генерировании РМ имеют относительно небольшие удельные потери

активной мощности $\Delta p_y = \frac{\Delta P}{Q}$. Двигатели с частотой вращения $n \leq 1000 \text{ мин}^{-1}$ и

$P_{\text{дн}} \leq 2500$ кВт можно использовать как источники РМ при технико-экономическом обосновании.

Использование СД только для компенсации РМ допускается, в виде исключения, по разрешению энергоснабжающей организации, так как удельные потери активной мощности на 1 квар реактивной мощности получаются весьма высокими. Действительно, переходя в режим синхронного компенсатора синхронный двигатель за счет размагничивающей реакции ротора не может выдать свою номинальную мощность в кВт·А в виде чисто реактивной. Предельная РМ СД составляет 0,6-0,8 полной мощности в зависимости от конструкции.

Синхронные компенсаторы

Синхронный компенсатор (СК) представляет собой синхронную машину напряжением 6-10 кВ, предназначенную только для выработки или потребления РМ и не несущую механической нагрузки, кроме покрытия механических потерь на вращение.

На промышленных предприятиях СК применяются редко. Их использование в системах электроснабжения промышленных объектов обосновано лишь при значительных реактивных нагрузках на напряжении 6-10 кВ, особенно при переменном графике нагрузки, включая резко переменный режим работы (дуговые печи, прокатные станы и т.п.).

Основные достоинства СК заключаются в следующем:

- 1) широкий диапазон регулирования реактивной мощности;
- 2) возможность быстрого регулирования в импульсном режиме;
- 3) более компактная установка по сравнению с конденсаторными батареями.

В тоже время СК имеют существенные недостатки:

- 1) наличие вращающихся частей, что требует больших эксплуатационных расходов;
- 2) значительные потери активной мощности;
- 3) сложные условия пуска при больших мощностях СК.

Решение о применении СК для компенсации РМ принимается исходя из технико-экономических соображений с учетом требований энергоснабжающей организации в отношении потребной в данном узле реактивной мощности, регулирования напряжения, устойчивости работы электроэнергетической системы и режима КЗ.

Синхронные компенсаторы применяются в основном в сетях энергосистем на районных подстанциях и служат для регулирования напряжения.

Синхронные генераторы

Реактивная мощность генераторов собственных электростанций промышленных предприятий всегда учитывается при выборе

компенсирующих устройств. Необходимо также определять целесообразность использования РМ работающих генераторов ближайших электростанций, в особенности при питании предприятия на генераторном напряжении.

Использование генераторов местных электростанций только для компенсации реактивной мощности допускается в редких случаях по специальному разрешению энергоснабжающей организации.

Статические источники реактивной мощности

Статические источники реактивной мощности характеризуются высоким быстродействием, плавным изменением реактивной мощности, без инерционности. Они являются эффективным средством улучшения режима напряжения в СЭС промышленных предприятий при резкопеременных и ударных нагрузках.

Большинство этих устройств имеют относительно небольшую мощность и значительную стоимость. Многие из них требуют введения дополнительных индуктивных элементов для поглощения РМ, когда потребитель прекращает ее потребление из сети. Статические ИРМ представляют собой сочетание конденсаторных батарей *CB* с регулирующим звеном, которым является управляемый реактор *LR* с подмагничиванием.

Для иллюстрации на рисунке 8.1 приведена упрощенная схема статического ИРМ с параллельным включением регулируемой индуктивности и нерегулируемой емкости.

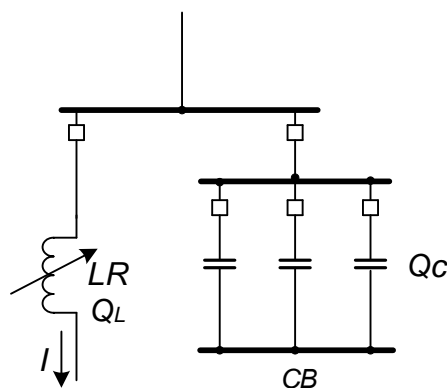


Рисунок 8.1 -Схема статического ИРМ

Суммарная мощность ИРМ определяется выражением

$$Q = Q_L - Q_c,$$

где Q_L – реактивная мощность, потребляемая реактором;

Q_c - реактивная мощность, генерируемая конденсаторной батареей.

Величина и знак мощности статического ИРМ Q в каждый момент времени зависит от регулируемой мощности Q_L . Мощность Q_c выбирается равной или несколько меньшей ожидаемого наброса реактивной мощности. При увеличении тока, протекающего через реактор, уменьшается индуктивность реактора, а, следовательно, и Q_L .

Аналогичный принцип используют и другие схемы статических ИРМ.

Тема 8.2. Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ

Выбор средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750 кВ·А и более производится в соответствии с РТМ 36.18.32.6-92 “Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий”.

В качестве источников реактивной мощности на предприятиях в первую очередь используются батареи статических конденсаторов (БСК) напряжением до 1 кВ и синхронные электродвигатели напряжением 6-10 кВ. Учитывается также реактивная мощность, которую целесообразно получать из энергосистемы в период максимальных нагрузок.

БСК напряжением 6,3 и 10,5 кВ могут применяться в качестве дополнительных источников реактивной мощности на предприятиях с непрерывным режимом работы при соответствующем обосновании.

При расчете компенсации реактивной мощности СД делятся на две группы. В первую входят наиболее экономичные двигатели, имеющие единичную мощность $P_{\text{дн}} > 2500$ кВт или частоту вращения $n > 1000$ мин⁻¹. Их располагаемая реактивная мощность $Q_{\text{др}}$ используется полностью без обосновывающих расчетов, так как у указанных двигателей меньшие потери активной мощности на выработку реактивной.

Под $Q_{\text{др}}$ понимается наибольшая реактивная мощность, которая генерируется синхронным двигателем при номинальном токе возбуждения и номинальном напряжении статора при нагрузке СД по активной мощности меньше номинальной.

Так как СД, как правило, загружены по активной мощности менее 85%, то $Q_{\text{др}}$ может быть принята 1,2 $Q_{\text{дн}}$. Суммарная номинальная мощность двигателей первой группы должна быть учтена при расчете нагрузок предприятия.

Вторую группу составляют синхронные электродвигатели, у которых $P_{\text{дн}} \leq 2500$ кВт и частоту вращения $n \leq 1000$ мин⁻¹. Эти двигатели используются для компенсации РМ при обосновании.

Расчет компенсации РМ ведется в следующей последовательности.

1. Промышленное предприятие, состоящее из совокупности зданий, разбивается на несколько технологически связанных групп цеховых трансформаторов, в пределах которых принимается одинаковая номинальная мощность $S_{\text{ном}}$ и один и тот же коэффициент загрузки β_{T} трансформаторов. При этом учитывается возможность электроснабжения небольших по мощности потребителей (с расчетной нагрузкой примерно до 300 кВ·А) на напряжении до 1 кВ от трансформаторных подстанций, расположенных в других зданиях на относительно небольшом расстоянии (до 300-400 м).

2. Для каждой группы определяется расчетные активная ($P_{\text{рн}}$) и реактивная ($Q_{\text{рн}}$) нагрузки на напряжении до 1 кВ. После этого принимается

единичная номинальная мощность трансформатора, его коэффициент загрузки и производится расчет минимального числа трансформаторов N_{Tmin} , необходимого для питания расчетной активной нагрузки группы. 3. По критерию минимума числа трансформаторов производится расчет установленной мощности батарей низковольтных конденсаторов (БНК) в сети напряжением до 1 кВ каждого трансформатора и предприятия в целом.

4. Если на предприятии имеются высоковольтные синхронные электродвигатели, то определяется РМ, которую от них целесообразно получать.

5. Выполняется расчет потерь мощности в силовых трансформаторах и уточняются расчетные нагрузки предприятия с учетом потерь мощности.

6. Определяется РМ, которую целесообразно получать из энергосистемы в часы больших нагрузок

7. Анализируется баланс РМ на границе раздела электрических сетей предприятия и энергосистемы.

Если реактивной мощности БНК, синхронных двигателей и получаемой из энергосистемы достаточно для покрытия реактивных нагрузок, то корректируется величина реактивной мощности, получаемой из энергосистемы, и расчет на этом заканчивается. В противном случае выявляется целесообразность более полного использования СД, имеющих $P_{он} \leq 2500$ кВт и частоту вращения $n \leq 1000$ мин⁻¹, если их коэффициент загрузки по реактивной мощности $\alpha < 1,2$.

8. При увеличении мощности, получаемой от СД, проводится повторный анализ баланса реактивной мощности на границе с энергосистемой с учетом дополнительной мощности двигателей. Если и дополнительная реактивная мощность синхронных двигателей не обеспечивает примерного равенства потребляемой и получаемой реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия, то дальнейший расчет компенсации РМ осуществляется следующим способом:

- для одно-, двух- и трехфазных предприятий рассматривается целесообразность дополнительной установки БНК;

- для предприятий с непрерывным режимом работы оценивается целесообразность применения высоковольтных батарей конденсаторов (БВК).

9. Анализируется баланс реактивной мощности и при необходимости корректируется мощность БНК или реактивная мощность, получаемая из энергосистемы.

9. УЧЕТ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

9.1. Учет электроэнергии и пути её экономии

Промышленные предприятия должны осуществлять расчеты за электроэнергию с энергоснабжающей организацией за расчетный период (месяц, квартал, год) по установленным тарифам. *Тарифы* – это система отпускных цен на электроэнергию, дифференцированных для различных

групп потребителей для промышленных потребителей применяются: одноставочные и двухставочные тарифы на электроэнергию.

Одноставочные тарифы представляют собой установленную цену одного потребленного киловатт-часа электроэнергии. Они устанавливаются для промышленных потребителей с присоединенной мощностью менее 750 кВт·А. При использовании одноставочных тарифов плата за электроэнергию, потребленную за расчетный период, подсчитывается по выражению

$$\Pi_3 = W \cdot b,$$

где W - количество потребленной электроэнергии, кВт·ч;

b -тарифная ставка за 1 кВт·ч, руб/ (кВт·ч).

Двухставочные тарифы применяются к промышленным и приравненным к ним потребителям с присоединенной мощностью 750 кВт·А и более. Эти тарифы предусматривают основную плату (за договорную или фактическую величину наибольшей получасовой совмещенной активной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы) и дополнительную плату (за фактическое количество потребленной активной энергии) за расчетный период.

Для потребителей, не имеющих расчетной автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), применяется двухставочный тариф, состоящий из платы за 1 кВт заявленной потребителем наибольшей активной мощности P_{\max} , участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы, и платы за 1 кВт·ч потребленной электроэнергии W . При этом плата за электроэнергию подсчитывается по выражению

$$\Pi_3 = aP_{\max} + bW,$$

где a -плата за 1 кВт заявленной максимальной мощности (основная ставка тарифа);

b -плата за 1 кВт·ч активной электроэнергии (дополнительная ставка тарифа).

Потребитель, имеющий расчетную АСКУЭ и рассчитывающийся за электропотребление по двухставочному тарифу, по согласованию с энергоснабжающей организацией, вправе выбрать для себя один из двух видов тарифа:

-двухставочный тариф с основной платой за фактическую величину наибольшей потребляемой активной мощности;

-двухставочно-дифференцированный тариф с основной платой за фактическую величину наибольшей потребляемой активной мощности.

При применении двухставочного тарифа плата за потребленную электрическую мощность и энергию за расчетный период рассчитывается по следующей формуле:

$$\Pi_3 = aP_{\text{фmax}} + bW,$$

где $P_{\text{фmax}}$ - фактическая максимальная потребляемая мощность предприятия в часы максимальных нагрузок энергосистемы, кВт.

В случае использования двухставочно-дифференцированного тарифа плата за электропотребление за расчетный период определяется по выражению

$$\Pi_{\text{э}} = a \cdot k_{\text{а}} P_{\text{фmax}} + b(k_{\text{н}} \cdot W_{\text{н}} + k_{\text{пп}} \cdot W_{\text{пп}} + k_{\text{п}} \cdot W_{\text{п}}) \quad ,$$

где $k_{\text{а}}$ – понижающий коэффициент к основной ставке двухставочного тарифа, $k_{\text{а}} = 0,5$;

$k_{\text{н}}$, $k_{\text{пп}}$ и $k_{\text{п}}$ – соответственно ночной, полупиковый и пиковый тарифные коэффициенты к дополнительной ставке двухставочного тарифа;

$W_{\text{н}}$, $W_{\text{пп}}$ и $W_{\text{п}}$ – количество активной энергии, потребленной в ночной, полупиковой и пиковой тарифных зонах суток соответственно, кВт·ч.

Учёт электроэнергии на промышленных предприятиях подразделяется на расчётный (коммерческий) и технический (контрольный).

Расчётный учёт электроэнергии предназначен для учёта выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчёта за неё. Данный вид учёта должен осуществляться статическими электронными счетчиками электроэнергии прямого или трансформаторного включения с цифровым интерфейсом.

При нагрузках до 100 А следует применять счетчики непосредственного (прямого) включения. Разрешается применять счетчики трансформаторного включения в случае ограниченных возможностей подключения силового кабеля к счетчику или его прокладки к шкафу счетчиков.

Расчётные счётчики электроэнергии рекомендуется устанавливать на границе раздела (по балансовой принадлежности) электрических сетей электроснабжающей организации и предприятия. Допускается установка приборов учёта в пункте приема электроэнергии. На рисунке 9.1 в качестве иллюстрации показаны возможные места установки приборов расчетного учёта.

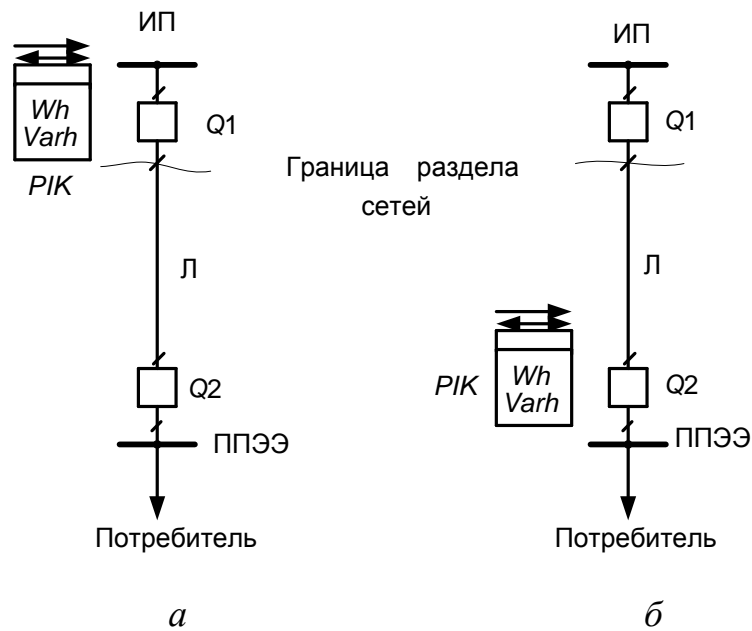


Рисунок 9.1- Рекомендуемое (а) и допускаемое (б) места установки электрических счетчиков расчетного учета:
PIK-счетчик активной и реактивной энергии; *Q1* и *Q2*-выключатели

Учет потребления реактивной мощности и электроэнергии производится на промышленных предприятиях с присоединенной мощностью 100 кВ·А и выше или со среднемесячным потреблением активной электроэнергии по одной питающей линии (в одной точке учета) более 30000 кВт·ч.

При необходимости учета реактивной электроэнергии применяется счетчик, учитывающий оба вида энергии. Если со стороны предприятия и при согласии энергоснабжающей организации осуществляется выдача реактивной электроэнергии в сеть энергосистемы, необходимо устанавливать расчетный счетчик активной и реактивной электроэнергии прямого и обратного потока (рисунок 9.1).

При использовании для расчета за электроэнергию дифференцированных по зонам суток тарифов должны применяться соответствующие многотарифные счетчики.

Средства технического учета электроэнергии на предприятиях следует устанавливать:

- на питающих линиях предприятия, если расчетный учет ведется по счетчикам, установленным на источниках питания энергосистемы;
- на линиях, питающих внутризаводские ТП, и на всех линиях к электроприемникам выше 1 кВ;
- на низшей стороне трансформаторов внутризаводских ТП и отходящих линиях напряжением до 1 кВ.

На установку и снятие счетчиков технического учета электроэнергии разрешения энергоснабжающей организации не требуется.

На объектах промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью 750 кВ·А и более должны создаваться расчетные АСКУЭ.

Применяемые на промышленных предприятиях АСКУЭ выполняют различные функции. С их помощью производится контроль максимальной совмещенной нагрузки предприятия, измеряется расход электроэнергии по каждому вводу и т.д.

В качестве иллюстрации на рисунке 9.2 показана упрощенная принципиальная схема автоматизации учёта электроэнергии для предприятия, получающего питание по двум вводам.

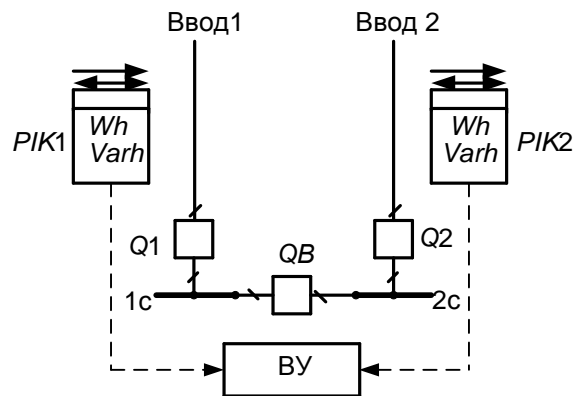


Рисунок 9.2-Принципиальная схема автоматизации учёта электроэнергии

На вводах установлены расчётные счётчики *PIK1* и *PIK2*. От счётчиков к вычислительному устройству (ВУ) информация об электропотреблении передается по специальным каналам связи. При большой удалённости счётчиков от ВУ (более 3 км), а также при объединении каналов учёта в группы применяются устройства сбора данных (УСД). Некоторые системы учёта допускают подключение к персональным компьютерам (ПК) (рисунок 9.3).

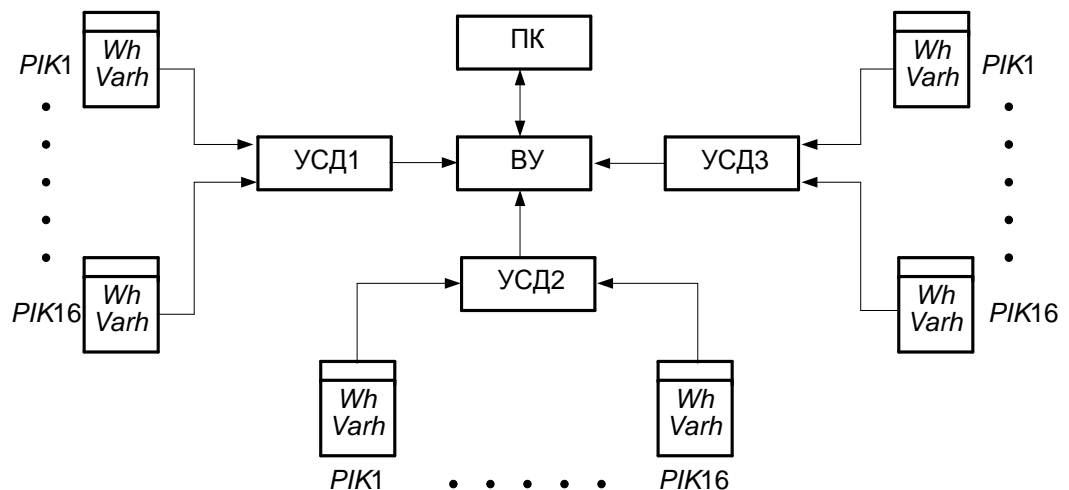


Рисунок 9.3-Упрощенная структурная схема автоматизированной системы учета электроэнергии

В схеме, приведенной на рисунке 9.3, для примера показано 48 пунктов учёта. Современные системы позволяют автоматизировать учёт практически для любого числа пунктов.

Работа таких элементов системы электроснабжения, как линии электропередачи, силовые трансформаторы, токоограничивающие реакторы, сопровождается потерями мощности и энергии.

В зависимости от исходных данных их можно определить для линий электропередач, по среднеквадратичному току $I_{ск}$.

Основные пути экономии электроэнергии на промышленных предприятиях

В процессе проектирования и эксплуатации СЭС должны приниматься технические и организационные решения, обеспечивающие рациональное электропотребление, как отдельных технологических установок, так и промышленного объекта в целом. Наибольшую эффективность в энергосбережении на промышленных предприятиях имеют следующие основные направления:

- 1) применение для производственных процессов рациональных видов и параметров энергоносителей;
- 2) использование вторичных энергоресурсов;
- 3) применение энергоэффективных технологий и оборудования;
- 4) интенсификация производственных процессов;
- 5) сокращение потерь электроэнергии в электрооборудовании и электрических сетях;
- 6) улучшение энергетических режимов производственного и электрического оборудования.

Эффективность применения оптимальных энергоносителей и их параметров обуславливается тем, что для осуществления технологических процессов могут использоваться разные виды энергоносителей. Оптимизация видов и параметров энергоносителей на основе технико-экономических расчетов является важным элементом энергосбережения.

Вторичные энергоресурсы во многих случаях целесообразно использовать на нагрев изделий, силовые нужды, а также на выработку электрической энергии.

Применение в промышленности энергоэффективных технологий и оборудования позволяет производить выпуск продукции с меньшими значениями удельных расходов электроэнергии.

Большое значение для энергосбережения имеет также интенсификация производственных процессов, например, повышение скорости резания обрабатывающих станков, ускорения нагрева путем увеличения удельной мощности без изменения вида нагрева и т.п.

Следует стремиться к рациональному использованию энергии в осветительных установках, обоснованно применяя эффективные источники света и световые приборы. Весьма важно также правильно организовать эксплуатацию осветительных установок и управление ими.

Важную роль для экономии электроэнергии играет автоматизация производственных процессов и отдельных технологических установок.

Улучшение энергетических режимов оборудования достигается рациональной загрузкой технологических агрегатов, выбором энергетически целесообразных режимов работы и графиков нагрузки электрооборудования, линий электропередачи и производственных установок и т.п.

Снижение потерь электроэнергии в элементах СЭС может дать ощутимую экономию электроэнергии на промышленном предприятии.

В трехфазных линиях электропередачи, токопроводах и других элементах, обладающих активным сопротивлением R , потери активной электроэнергии ΔW (кВт·ч) на нагревание за расчетный период T_p могут быть найдены по выражению

$$\Delta W = \frac{K_{\text{фа}}^2 \cdot P_c^2 + K_{\text{фр}}^2 \cdot Q_c^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot R \cdot T_p \cdot 10^{-3}, \quad (9.1)$$

где $K_{\text{фа}}$ и $K_{\text{фр}}$ - коэффициенты формы графиков нагрузки по активной и реактивной мощности;

P_c и Q_c - средние величины активной (кВт) и реактивной (квар) нагрузок за время T_p (ч);

R - активное сопротивление проводника, Ом;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение сети, кВ.

Анализ формулы (9.1) показывает, что уменьшение потерь электроэнергии может быть достигнуто повышением $U_{\text{ном}}$ и снижением величин остальных ее составляющих. Величина P_c может быть уменьшена совершенствованием технологического процесса, применением энергоэффективных электроприемников и т.п. Снижение Q_c осуществляется путем компенсации реактивной мощности. Уменьшение коэффициентов $K_{\text{фа}}$ и $K_{\text{фр}}$ достигается выравниванием графиков электрических нагрузок по активной и реактивной мощности.

При $K_{\text{фа}} = K_{\text{фр}} = K_{\text{ф}}$ для расчета нагрузочных потерь электроэнергии в трехфазной линии электропередачи используется выражение

$$\Delta W = 3 \cdot K_{\text{ф}}^2 \cdot I_c^2 \cdot R \cdot T_p \cdot 10^{-3},$$

где I_c - среднее значение тока нагрузки линии за время T_p , А.

Если коэффициент формы графика $K_{\text{ф1}}$ снижается до значения $K_{\text{ф2}}$, то потери активной электроэнергии уменьшаются на величину

$$\delta W = 3 \cdot I_c^2 \cdot R \cdot T_p \cdot (K_{\text{ф1}}^2 - K_{\text{ф2}}^2) 10^{-3}.$$

Сопrotивление линий электропередачи можно снизить путем применения жил кабелей или проводов и большими сечениями токопроводящих жил, использования проводникового материала с меньшим удельным сопротивлением, уменьшения длины линии путем оптимизации ее трассы. Получаемое при этом снижение потерь активной электроэнергии определяется по выражению

$$\delta W = 3 \cdot I_c^2 \cdot K_\phi^2 \cdot T_p \cdot (r_{01} l_{01} - r_{02} l_{02}) 10^{-3},$$

где r_{01} и l_{01} - удельное активное сопротивление и длина линии в исходном режиме;

r_{02} и l_{02} - то же, но после внедрения мероприятий по снижению активного сопротивления линии.

Применение более высокого напряжения без изменения сечения проводников при одной и той же мощности нагрузки снижает ток линии, что уменьшает потери активной электроэнергии на величину

$$\delta W = 3 \cdot R \cdot K_\phi^2 \cdot T_p \cdot (I_{c1}^2 - I_{c2}^2) 10^{-3}, \quad (9.2)$$

где I_{c1} и I_{c2} - средний за время T_p ток нагрузки линии при низшем и высшем напряжениях соответственно, А.

При более высоком напряжении могут быть применены проводники с меньшим сечением, что снижает расход цветного металла, но увеличивает удельное активное сопротивление линии. В данном случае выражение (9.2) имеет вид

$$\delta W = 3 \cdot l \cdot K_\phi^2 \cdot T_p \cdot (r_{01} I_{c1}^2 - r_{02} I_{c2}^2) 10^{-3},$$

где l - длина линии, км;

r_{01} и r_{02} - удельное активное сопротивление линии при низшем и высшем напряжениях соответственно, Ом/км.

Для снижения потерь мощности и электроэнергии в СЭС промышленных предприятий следует обоснованно применять и правильно выбирать токоограничивающие реакторы, устанавливаемые на линиях электропередачи напряжением 6-10кВ. Следует по возможности равномерно загружать фазы в трехфазных сетях.

Годовые потери электроэнергии в силовом двухобмоточном трансформаторе определяются по формуле

$$\Delta W_T = \Delta P_x \cdot T_B + \Delta P_K \frac{K_{\phi a}^2 \cdot P_c^2 + K_{\phi p}^2 \cdot Q_c^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot T_p, \quad (9.3)$$

где ΔP_x и ΔP_K - потери мощности ХХ и КЗ трансформатора, кВт;

Q_c и P_c - соответственно средняя активная (кВт) и реактивная (квар) нагрузка трансформатора;

$S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

T_v и T_p – число часов включения и работы с нагрузкой трансформатора в течение года, ч.

Формула (9.3) позволяет выявить способы уменьшения годовых потерь электроэнергии в силовом трансформаторе. При одной и той же номинальной мощности меньшие значения ΔP_x и ΔP_k имеют энергоэффективные трансформаторы, позволяющие снизить потери электроэнергии. Способы снижения коэффициентов формы графиков нагрузок $K_{\text{фа}}$ и $K_{\text{фр}}$ и средних значений активной и реактивной мощности нагрузок приведены выше.

Для снижения потерь мощности и электроэнергии важнейшее значение имеют правильный выбор числа и мощности трансформаторов при проектировании СЭС, а также обеспечение их рационального режима работы в условиях эксплуатации.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

электронного учебно-методического комплекса

по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»

для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

РАЗДЕЛ II. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ, ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Темы практических занятий

Тема 1. Определение электрических нагрузок промышленных предприятий.

Тема 2. Выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ.

Тема 3. Выбор измерительных трансформаторных токов и напряжения.

Тема 4. Выбор сечений проводников напряжением до 1 кВ.

Тема 5. Выбор сечений проводников напряжение выше 1 кВ.

Тема 6. Расчет токов короткого замыкания.

Тема 7. Выбор батарей низковольтных конденсаторов в электрических сетях производственных объектов.

Тема 8. Определение рациональной загрузки силовых трансформаторов. Выбор состава работающих силовых трансформаторов на подстанциях и в цехах промышленного предприятия.

2.2 Примерный перечень задач

Тема 1. Определение электрических нагрузок промышленных предприятий.

Задача 1. Определить n_3 для электроприемников механического участка инструментального цеха со следующими данными:

- токарные станки: $5(15+7,5+1,1)$ кВт;
- строгальные станки $4(7,5+4)$ кВт;
- заточные станки 2×4 кВт; $2 \times 1,1$ кВт.

Задача 2. Определите расчетный ток для группы асинхронных двигателей:

- $P_{\text{ном}1}=4,5$ кВт, $\text{Cos } \varphi_1 = 0,8$, $K_{\text{и}} = 0,15$; $n_1=4$
- $P_{\text{ном}2}=2,2$ кВт, $\text{Cos } \varphi_2 = 0,6$, $K_{\text{и}} = 0,24$; $n_2=2$
- $P_{\text{ном}3}=5,5$ кВт, $\text{Cos } \varphi_3 = 0,85$, $K_{\text{и}} = 0,2$, $n_3=5$
- $P_{\text{ном}4}=15$ кВт, $\text{Cos } \varphi_4 = 0,75$, $K_{\text{и}} = 0,25$, $U_{\text{ном}} = 400\text{В}$, $n_4=1$.

Задача 3. Установленная мощность электродвигателей станков $P_{\text{н}} = 82$ кВт, $\text{Cos } \varphi = 0,83$, $K_{\text{с}} = 0,25$. Определите электрическую нагрузку.

Тема 2. Выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ.

Задача 1. Выбрать магнитный пускатель для управления асинхронным двигателем, номинальные параметры которого следующие:

$$P_{\text{ном}} = 7,5 \text{ кВт}, U_{\text{ном}} = 400\text{В}, \eta_{\text{ном}} = 87,5\%, \text{Cos } \varphi_{\text{ном}} = 0,86, k_{\text{пуск}} = 7,5.$$

Задача 2. Выберите автоматический воздушный выключатель для асинхронного электродвигателя, номинальные параметры которого следующие:

$P_{\text{ном}} = 30\text{кВт}$, $U_{\text{ном}} = 400\text{В}$, КПД=91,5, $\text{Cos } \varphi_{\text{ном}} = 0,86$, $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 7$. Ток КЗ в начале линии $I_{\text{к}} = 0,6$ кА.

Задача 3. Выберите предохранитель для ответвления к асинхронному электродвигателю с тяжелыми условиями пуска, номинальные параметры которого следующие:

$$P_{\text{ном}} = 11\text{кВт}; U_{\text{ном}} = 400\text{В}; \eta_{\text{ном}} = 0,9; \text{Cos } \varphi_{\text{ном}} = 0,89; I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 7.$$

Тема 3. Выбор выключателей, разъединителей, выключателей нагрузки (ВН), измерительных трансформаторных токов (ТТ) и напряжения (ТН) напряжением выше 1 кВ.

Задача 1. Выбрать выключатель для трехфазной кабельной линии напряжение 10 кВ, питающей потребителя от РП. Расчетный ток линии в

нормальном режиме $I_p = 230,2$ А, в послеаварийном $I_{pa} = 460,4$ А. Действующее значение периодической составляющей тока КЗ на шинах РП $I_k = 6,4$ кА, время отключения тока КЗ выключателем $t_{отк} = 0,6$ с, постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ $T_a = 0,01$ с.

Задача 2. Выбрать шинный и линейный разъединители в камере распределительного устройства с выключателем для подключения кабельной линии напряжением 10 кВ. Исходные данные для расчета приведены в задаче 1.

Задача 3. Выбрать выключатель нагрузки в шкафу ввода высокого напряжения КТП напряжением 10/0,4 кВ с трансформатором мощностью 1000 кВ·А. Расчетный ток в цепи ВН $I_p = 40,3$ А. Действующее значение периодической составляющей тока КЗ на стороне 10 кВ ТП $I_k = 7,4$ кА. Время отключения КЗ выключателем, установленным на источнике питания, $t_{отк} = 0,6$ с. Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ $T_a = 0,01$ с.

Задача 4. Выбрать трансформаторы тока для кабельной линии напряжением 10 кВ, отходящей от РП. К ТТ подключается счетчик для технического учета электроэнергии и амперметр для измерения текущих значений величин тока. Расчетный ток линии в нормальном режиме $I_p = 290$ А, а в послеаварийном - $I_{pa} = 580$ А. Действующее значение периодической составляющей тока КЗ на шинах РП $I_k = 8,1$ кА, время отключения тока КЗ выключателем $t_{отк} = 0,6$, постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ $T_a = 0,01$ с.

Задача 5. Выбрать трансформатор напряжения для электрических измерений и контроля изоляции для секции напряжением 10 кВ РП. К ТН присоединены обмотки напряжением пяти счетчиков технического учета электроэнергии типа «Гран-электро СС-301» и четыре вольтметра типа Э-8030-М1. Вольтметры измеряют напряжения фаз $L1, L2, L3$, а также между фазами $L1$ и $L3$. Расстояние от ТН до наиболее удаленного электрического счетчика – 16 м.

Тема 4. Выбор сечений проводников напряжением до 1 кВ.

Задача 1. Два асинхронных электродвигателя, использующиеся для привода вентиляторов, предполагается подключить к распределительному шкафу ШР-11. Выбрать сечение и марку проводов ответвлений к двигателю, определить способ и место их прокладки. Номинальные параметры двигателей:

$$P_{ном1} = 7,5 \text{ кВт}, U_{ном} = 400 \text{ В}, \eta_{ном} = 87,5\%, \cos \varphi_{ном} = 0,86, K_{пуск} = 7,5;$$

$$P_{ном2} = 4 \text{ кВт}, \eta_{ном} = 85\%, \cos \varphi_{ном} = 0,84, K_{пуск} = 7.$$

Задача 2. Выбрать низковольтный кабель от ЩО 70 к силовому шкафу ШР-11. Расчетный ток 27 А. Ток короткого замыкания в начале линии 2,2 кА. Время отключения тока КЗ 0,02 с.

Задача 3. Группу электроприемников, суммарная расчетная нагрузка которых $S_p = 150$ кВ·А, предполагается питать от распределительного шинпровода длиной 60 м. Шинпровод может быть подключен к сборным шинам 400 В цеховой ТП (1х1000 кВ·А), которая находится на расстоянии 30 м от ближайшего конца шинпровода.

Выбрать тип шинпровода и его параметры; сечение и марку кабеля, питающего шинпровод; определить напряжение на выводах удаленного электроприемника, подключенного к шинпроводу.

Тема 5. Выбор сечений проводников напряжение выше 1 кВ.

Задача 1. По экономической плотности тока выбрать сечение жил кабеля с алюминиевыми жилами для линии напряжением 10 кВ, питающей сборочный цех с расчетным током нагрузки $I_p = 250$ А. Время использования максимальной нагрузки $T_{max} = 4200$ ч. Кабель прокладывается на металлоконструкциях.

Задача 2. Выберите сечение жил кабеля 10кВ, питающего двухтрансформаторную подстанцию, на которой установлены трансформаторы мощностью $S_{ном} = 1600$ кВ·А. Расчетная нагрузкой подстанции составляет $S_{рн}=1400$ кВ·А. Время использования максимальной нагрузки $T_{max}=3800$ ч. Ток КЗ на шинах РП $I_k=5,1$ кА, $t_{откл}=0,6$ с, Кабель прокладывается на лотках. Температура среды 35°C.

Задача 3. Выбрать сечение жил кабеля, питающего ТП $S_T = 1250$ кВ·А, нагрузкой $S_p = 990$ кВ·А. Ток КЗ в начале линии $I_k=6,9$ кА. Время использования максимальной нагрузки $T_{max}=4200$ ч. Кабели прокладываются в земле. Температура среды 15°C. Время срабатывания защиты 0,6 с.

Тема 6. Расчет токов короткого замыкания.

Задача 1. Дана расчетная схема высоковольтной сети рисунок 1, в которой представлены турбогенераторы Г1 и Г2, через трансформаторы Т1 и Т2 связаны воздушными линиями $L1$, $L2$ и $L3$ на напряжении U_1 между собой и подстанцией системы, где установлен трансформатор Т3. От подстанции системы отходит кабельная линия $L4$ напряжением U_2 . Точка короткого замыкания К1 расположена на высоком напряжении U_1 трансформатора Т3, а точки К2 и К3 - на напряжении U_2 в начале и конце кабельной линии $L4$. Исходные данные:

Г1 = 60 МВт, $X_{d1''} = 0,13$, $\cos \varphi_1 = 0,8$; Г2 = 300 МВт, $X_{d2''} = 0,195$, $\cos \varphi_2 = 0,85$; Т1 = 80 МВ·А, $U_{к1} = 10,5\%$; Т2 = 400 МВ·А, $U_{к2} = 10,5\%$; Т3 = 25 МВ·А, $U_{к3} = 10,5\%$; $U_1 = 115$ кВ, $U_2 = 6,3$ кВ; $L1 = 110$ км, $L2 = 80$ км, $L3 = 30$ км, $L4 = 2,0$ км.

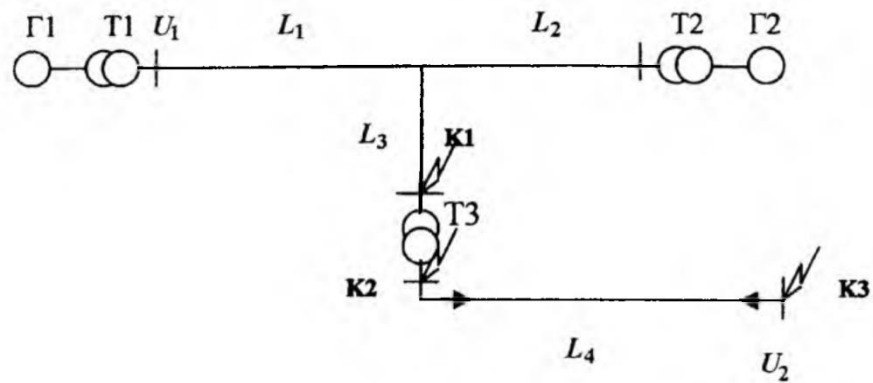


Рисунок 1 – Расчетная схема высоковольтной сети

Тема 7. Выбор батарей низковольтных конденсаторов в электрических сетях производственных объектов.

Задача 1. Определить мощность батарей низковольтных конденсаторов (БНК) для цеха, имеющего нагрузки $P_{рн} = 3100$ кВт и $Q_{рн} = 2300$ квар. Единичная номинальная мощность трансформаторов типа ТМГ32 $S_{ном} = 1600$ кВ·А, коэффициент загрузки трансформаторов $\beta_T = 0,8$.

Задача 2. Определить расчетные нагрузки и выбрать компенсирующие устройства в сетях напряжением до 1 кВ механического и административно-бытового корпусов промышленного предприятия (станкостроительного завода). Данные электроприемников корпусов принимаются при подготовке к занятиям. Расположение корпусов задается на генплане предприятия.

Тема 8. Потери мощности и электроэнергии в элементах электроснабжения. Выбор состава работающих силовых трансформаторов на подстанциях и в цехах промышленного предприятия.

Задача 1. Определить потери активной энергии в кабельной линии длиной 4 км, выполненной кабелем ААШВУ – 3х120-10, питающей цех предприятия с трехфазным режимом работы. Годовой расход электроэнергии по цеху составляет $12000 \cdot 10^3$ кВт·ч при максимальной токовой нагрузке $I_m = 200$ А и $\cos\varphi = 0,8$.

Задача 2. Определить годовые потери активной и реактивной электроэнергии в трансформаторе $S_{ном} = 1000$ кВ·А с коэффициентом загрузки $\kappa_3 = 0,85$. Число часов использования максимальной нагрузки $T_m = 3500$ ч, $\cos\varphi = 0,85$.

Задача 3. Приборостроительный (станкостроительный, шарикоподшипниковый) завод питается от энергосистемы на напряжении через два одинаковых трансформатора типа ТДН-16000/110. Каждый трансформатор имеет следующие параметры: $S_{ном} = 16$ МВ·А; $\Delta P_x = 18$ кВт; $\Delta P_k = 85$ кВт; $I_x = 0,7\%$; $U_x = 10,5\%$. Максимальная нагрузка завода $P = 20$ (21 или

22) МВт; коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,85$ (0,9 или 0,95). В течение года трансформаторы работают без отключений.

Определить потери активной и реактивной мощности и годовые потери электроэнергии в трансформаторах для двух вариантов:

- 1) трансформаторы работают отдельно и имеют неодинаковую нагрузку: один трансформатор несет 40%, а второй – 60% общей нагрузки;
- 2) трансформаторы работают параллельно и имеют одинаковую нагрузку.

2.3 Темы лабораторных занятий

1. Назначение неавтоматических коммутационных аппаратов, применяемых в электроустановках напряжением до 1 кВ.
2. Исследование характеристик плавких предохранителей и автоматических выключателей.
3. Устройство и конструктивное выполнение электрических сетей напряжением до 1 кВ.
4. Комплектные распределительные устройства напряжение до 1 кВ.
5. Изучение графиков электрических нагрузок.
6. Потребители реактивной мощности в системах электроснабжения предприятий.
7. Режимы нейтрали в системах электроснабжения.
8. Комплектные распределительные устройства напряжением выше 1 кВ.

2.4 Лабораторные работы

Лабораторная работа №1

НАЗНАЧЕНИЕ НЕАВТОМАТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1кВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить назначение конструкцию электрических аппаратов, применяемых в электроустановках напряжением до 1кВ.

1.1 Краткие теоретические сведения

Контактными коммутационными электрическими аппаратами являются рубильники, разъединители, пакетные выключатели, выключатели-разъединители, кулачковые и универсальные переключатели, кнопки управления, контроллеры и командоконтроллеры.

Кнопки управления предназначены для подачи оператором управляющего воздействия при управлении различными электромагнитными аппаратами (реле, пускателями, контакторами), а также для коммутирования цепей управления сигнализацией, электрической блокировки и других цепей постоянного и переменного тока при напряжении соответственно 440 и 690 В.

Кнопки управления различаются по величине (нормальные и малогабаритные), количеству замыкающих и размыкающих контактов, номинальному току и напряжению, форме и цвету толкателя.

По конструктивному исполнению различают кнопки управления: с самовозвратом в исходное положение; с защелками, фиксирующими положение после нажатия; с включением специальным ключом.

Два, три и более кнопочных элемента, смонтированные в одном корпусе, образуют кнопочный пост. Выполняются для монтажа на пульте, стене (подвесные), полу (ножные).

Различают кнопки управления открытого исполнения (КЕ); переключатели открытого исполнения (ПЕ); кнопочные посты управления на 2, 3, 4 и более кнопочных элемента (ПКЕ).

Основной частью кнопок управления является кнопочный элемент (рисунок 1.1), в пластмассовом корпусе 3 которого установлены неподвижные контакты 5. На стержне 8 закреплен контактный мостик 6, который поджат пружинами 7, обеспечивающими нажатие контактов. При свободном толкателе 1 (кнопка не нажата) нижняя пружина прижимает контактный мостик к верхним неподвижным контактам, а если толкатель утоплен, то к нижним контактам. В исходное положение толкатель возвращает пружина 2, которая установлена между диском 4 и выточкой толкателя. Кнопка крепится к панели гайкой 9. Контакты кнопочных элементов посеребрены. Они рассчитаны на 40 000 циклов включений—отключений под нагрузкой.

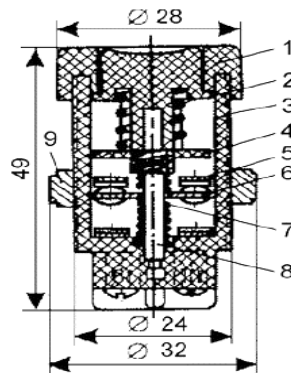


Рисунок 1.1 – Конструкция кнопки управления:

1 - толкатель; 2 - пружина; 3 - корпус; 4 - диск;

5 - неподвижные контакты;

6 - контактный мостик; 7 - пружина; 8 - стержень; 9 – гайка

Пакетные выключатели и переключатели применяются для коммутации в цепях управления и сигнализации, в схемах пуска и реверса электродвигателя (ЭД) небольшой мощности под нагрузкой, в цепях постоянного тока напряжением до 230 В и переменного тока напряжением 400 В. Представляют собой малогабаритные многоцепные аппараты поворотного типа, состоят из двух основных узлов: контактной системы и переключающего элемента. Выпускаются пакетные выключатели, рассчитанные на ток 4-400 А и нечастые коммутации токов, не превышающих номинального значения выключателя, 15-20 включений и имеющие одно-, двух и трехполюсную конструкцию в открытом, защищенном и герметичном исполнении. **Переключатель** - это разновидность рубильника на два рабочих и одно нейтральное положения для поочередного подключения к двум различным электрическим цепям.

Типы пакетных выключателей и переключателей имеют следующие буквенные обозначения: ПВ — пакетный выключатель; ПВМ— то же, малогабаритный; ГПВМ герметичный малогабаритный и переключатели серии ПП. Следующие за буквами цифры обозначают количество полюсов и номинальный ток аппарата.

В пакетном выключателе каждый коммутируемый полюс выполнен в виде отдельного элемента – пакета. Пакеты разных полюсов (рисунок 1.2) набираются на скобе 4 со стяжными шпильками 3. На валике с рукояткой 1 зафиксированы подвижные контакты 7, имеющие профильное отверстие 5. Неподвижные контакты 8 находятся между изоляционными дисками 6. Контактные нажатия происходят под действием пружинящих подвижных контактов. Дуга, возникающая при замыкании и размыкании контактов, гасится в закрытой крышечкой 2 камере, которая находится между пакетами, при наличии искрогасительных шайб.

Выключатель снабжен механизмом мгновенного переключения. Он представляет собой заводную пружину, которая обеспечивает высокую скорость размыкания контактов.

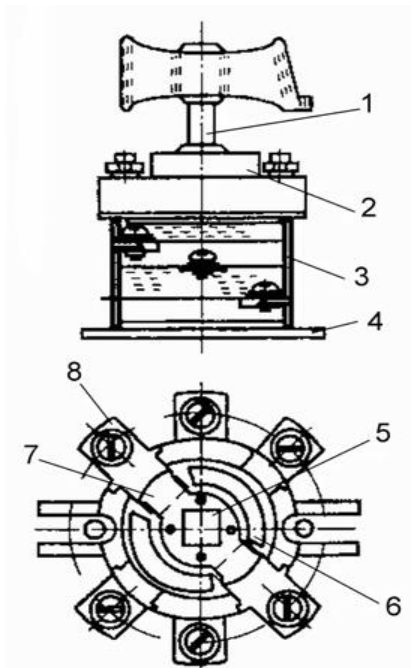


Рисунок 1.2 – Конструкция пакетного выключателя:
 1 - рукоятка; 2 - крышка; 3 - стяжная шпилька; 4 - скоба;
 5 - профильное отверстие;
 6 - изоляционный диск; 7 - подвижный контакт; 8 - неподвижный контакт

Согласно ГОСТ, **кулачковый переключатель** – это аппарат для цепей управления, снабженный органом управления (рукояткой или ключом), приводимым в действие вращением. Кулачковые переключатели являются электрическими аппаратами, которые нужны для коммутации в электрических цепях напряжением до 500 В – для переменного тока (частотой 50-60 Гц) и до 220 В постоянного тока. Кулачковые переключатели, как правило, имеют малый размер, они устойчивы к кратковременной перегрузке в цепи, а также обладают хорошими коммутационными способностями. Чтобы защитить их от тока коротких замыканий в электрической схеме нужно предохранители с плавкими вставками.

Из самого названия этого устройства следует, что конструкция обусловлена применением «кулачков», которые приводит в действие «толкатель». Кулачковые переключатели предназначены для переключения схем обмоток ЭД звезда-треугольник, управления приводами секционных разъединителей и выключателей на трансформаторной подстанции, во вторичных цепях измерения, сигнализации и т.д.

Универсальные переключатели имеют два и более положения рукоятки, от 2 до 16 секций (8 исполнений), устанавливаются на щитах и пультах управления и служат для ручного переключения цепей управления напряжением до 440 В постоянного и до 500 В переменного тока.

Общий вид переключателя (рисунок 1.3). Через секции проходит валик, на одном конце которого находится пластмассовая рукоятка. Для закрепления переключателя на панели в его передней стенке сделаны три выступа с

отверстиями под установочные винты. Коммутация электрических цепей осуществляется имеющимися контактами.



Рисунок 1.3 – Общий вид универсального переключателя

Конструкция рабочей секции универсального переключателя представлена на рисунок 1.4.

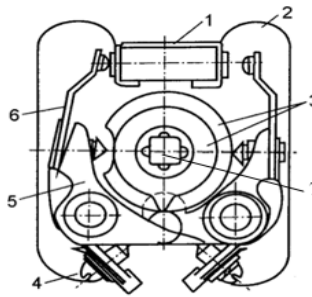


Рисунок 1.4 – Конструкция рабочей секции универсального переключателя:

1 — контактная скоба; 2 — пластмассовая перегородка; 3 — кулачковые шайбы; 4 — зажим; 5 — скоба; 6 — палец; 7 — центральный валик

Каждая секция состоит из пластмассовой перегородки 2, контактной скобы 1 с двумя приваренными серебряными контактами, двух скоб 5, взаимодействующих с пальцами 6, зажимов 4 для подключения проводов и кулачковых шайб 3, насаженных на центральный валик (рисунок 1.4). В каждой секции находится по три кулачковые шайбы, одна из которых предназначена для перемещения левого пальца, другая — для перемещения правого пальца, средняя — для разведения обоих пальцев. Когда валик поворачивается в одну сторону, выступы рабочей поверхности крайней левой или правой шайбы нажимают на хвостовик скобы 5 и соответствующий палец соприкасается с неподвижным контактом скобы 1. При этом шипы пальцев входят во впадины средней шайбы. Разведение пальцев происходит, когда выступ рабочей поверхности средней шайбы нажимает на шипы. Хвостовик скобы 5 в это время оказывается во впадине, соответствующей левой или правой крайней шайбы. Фиксация переключателя осуществляется специальным устройством, которое находится на его передней стенке.

Пакетные выключатели и переключатели в электроустановках напряжением до 1 кВ применяются в щитках электрического освещения, в шкафах и щитах управления и т.п.

Контроллер - это многоступенчатый коммутационный аппарат для непосредственных переключений в главных цепях и в цепях возбуждения ЭД напряжением до 500 В, а также для изменения сопротивлений резисторов, включенных в эти цепи. Кулачковые контроллеры получили широкое распространение в крановых электроприводах переменного тока мощностью до 30 кВт и постоянного тока мощностью до 20 кВт.

В контроллере переменного тока коммутация естественная, без дугогасительных устройств. Коммутационные элементы контроллера постоянного тока аналогичны по конструкции, но каждый из них имеет дугогасительное устройство с магнитным дутьем (рисунок 1.5).

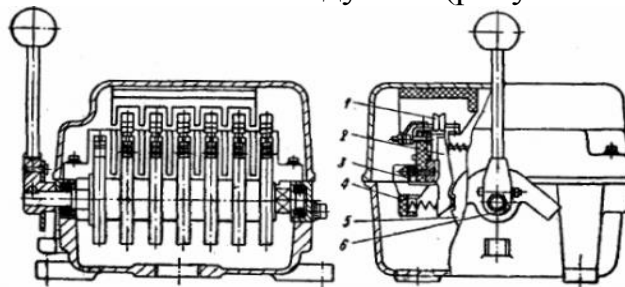


Рис.1.5. Кулачковый контроллер ККТ60А: 1- главные контакты; 2- рычаг; 3- пластмассовая рейка; 4- гибкое соединение; 5- кулачковые шайбы; 6-рукоятка

Коммутационные элементы кулачкового контроллера размещены на двух пластмассовых рейках 3. Главные контакты 1 выполнены из меди. Неподвижные контакты укреплены непосредственно на пластмассовых рейках, а подвижные установлены на рычагах 2 с шарнирно-пружинной связью между рычагом и контактом. На валу контроллера, поворачиваемого рукояткой 6, смонтированы кулачковые шайбы 5, каждая из которых имеет определенный профиль для создания необходимой последовательности коммутации контактов. Электрическая связь с подвижными контактами осуществляется через гибкое соединение 4.

Выбор контроллера производится исходя из типа и мощности управляемого им двигателя. Основным параметром контроллера является номинальный ток главной цепи при ПВ=40 % и общей продолжительности цикла не более 4 мин. Кулачковые контроллеры применяют вместе с контакторами, коммутационные свойства которых намного выше, чем контактов контроллера.

Командоконтроллеры - это аппараты, предназначенные для дистанционных переключений в нескольких цепях сравнительно малой мощности (максимальный коммутируемый переменный ток - 10 А, постоянный ток при напряжении 230 В и индуктивной нагрузке - 1,5 А).

Применяют два вида командоконтроллеров: контактные и бесконтактные. Контактный командоконтроллер представляет собой многопозиционный аппарат с заданной программой замыкания и размыкания контактов при повороте приводного вала вручную или через механический привод. Существенным недостатком контактных механических выключателей являются возможность разрегулировки их при частых переключениях и недостаточная надежность, особенно при больших скоростях движения механизма. В связи с этим в настоящее время широко применяются аппараты с бесконтактными элементами, индуктивными и емкостными датчиками. Бесконтактный коммутационный аппарат, осуществляет коммутационную операцию без перемещения и разрушения его деталей. Это является преимуществом, так как при включении-выключении их детали не соприкасаются, а значит, не изнашиваются, и служат дольше.

Разъединителем – называют устройство, предназначенное для коммутации (разъединения) электрической цепи без тока или с малым током, который для обеспечения безопасности имеет в отключенном положении изоляционный промежуток, основной функцией разъединителя является создание видимого разрыва цепи. Должна быть визуальная видимость текущего положения разъединителя, а также невозможностью самопроизвольного включения или отключения линии. Устройство не имеет элементов, предназначенных для искрогашения, поэтому, чтобы исключить возникновение дуги указанные аппараты подключаются совместно с выключателями, которые обесточивают цепь. В электроустановках напряжением до 1 кВ разъединители устанавливаются в панелях распределительных пунктов и щитов ТП.

Рубильники — простейшие электрические коммутационные аппараты с ручным приводом и металлическими ножевыми контактами, входящими в неподвижные пружинящие контакты (гнезда), на которые обычно подается напряжение. Рубильники предназначены для нечастых (не более шести в час) включений/отключений нагрузки в электротехнических цепях, применяются в цепях переменного тока при напряжении до 690 В и постоянного тока при напряжении до 440 В.

По количеству полюсов они подразделяются на одно-, двух- и трехполюсные; по роду управления бывают с центральной или боковой рукояткой либо рычажным приводом; по способу присоединения — с передней или задней стороны аппарата. Рубильники выпускаются на величину номинального тока — 100; 200; 400; 600; 1000 А.

В трехфазных электроустановках напряжением до 1 кВ в основном применяются трехполюсные рубильники. Они устанавливаются в распределительных шкафах типа ШР на вводе, а также в силовых коммутационных ящиках. Переключатели перекидные имеют такое же конструктивное устройство, что и рубильники, и служат для коммутации электрических цепей.

Существует несколько типов рубильников и переключателей:

- Р (П) — рубильник (переключатель);
- РП (РБ) — рубильник (переключатель), рубильник с боковой рукояткой (рисунок 1.6);
- РПБ (ППБ) — рубильник (переключатель) с боковым рычажным приводом;
- РПЦ (ППЦ) — рубильник (переключатель) с центральным рычажным приводом.

В структуре обозначения за буквами следуют две цифры. Первая обозначает число полюсов, вторая - номинальный ток (1 - 100 А, 2 - 250 А, 4 - 400 А и 6 - 600 А).

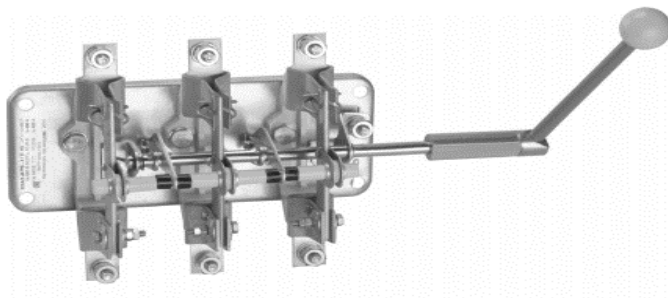


Рисунок 1.6 – Общий вид рубильника РБ с боковой рукояткой

Коммутирующим элементом рубильников является подвижный нож 2 (рисунок 1.7), который входит в губки контактных стоек 3. Переключатель отличается наличием дополнительных контактных стоек 6 с выводами 5, что обеспечивает переключение с одной на другую подходящих к нему электрических цепей. Устройств гашения электрической дуги рубильники не имеют.

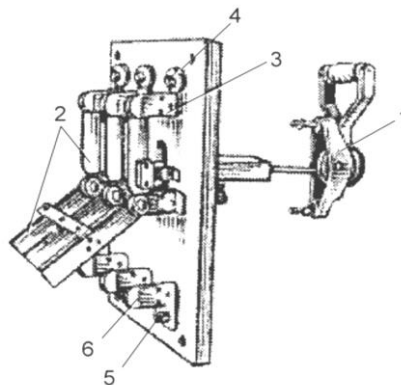


Рисунок 1.7 – Конструкция рубильника-переключателя РПЦ с центральным рычажным приводом:

- 1 - рычаг; 2 - подвижный контактный нож;
- 3, 6 - контактные стойки; 4, 5 - контактные выводы

Для надежного отключения и предохранения ножей от обгорания рубильники (на токи 100-400 А) выполняют с моментным отключением или с дугогасительными контактами. Моментное отключение достигается при помощи моментного (разрывного) ножа, связанного пружиной с

параллельным главным ножом. При отключении сначала выходит главный нож и растягивает пружину. Скорость движения моментного ножа и раствор контактов определяются параметрами отключающей пружины. При использовании дугогасительных контактов (рубильники и переключатели на 600 А) моментные ножи обычно не применяют.

Дугогасительные контакты используют в рубильниках постоянного тока при токах более 100 А и во всех рубильниках переменного тока, где скорость расхождения контактов и их раствор практически не влияют на условия гашения дуги. Эти контакты отключаются последними и служат для защиты главных контактов от обгорания.

Гашение дуги постоянного тока (до 75 А) происходит вследствие её механического растягивания. При больших токах гашение дуги осуществляется за счет ее перемещения электродинамическими силами взаимодействия. Чем короче нож, тем больше силы взаимодействия между дугой и деталями рубильника, что повышает отключающую способность рубильника.

Открытые рубильники, переключатели с центральной рукояткой применяют для замыкания и размыкания цепей без нагрузки, это относится и к рубильникам с боковой рукояткой при постоянном токе напряжением 440 В и 500 В при переменном. Аппараты с боковой рукояткой или рычажным приводом отключают токи до 0,3 номинального значения при напряжении 400 В. Допускается применять рубильники для непосредственного включения/отключения ЭД с короткозамкнутым ротором мощностью не более 10 кВт.

Выключатели-разъединители (рубильники) серии ВР предназначены для включения, пропускания и отключения переменного тока номинальным напряжением до 690 В номинальной частоты 50 и 60 Гц и постоянного тока номинальным напряжением до 440В в устройствах распределения электрической энергии. Общий вид выключателя-разъединителя серии ВР представлен на рисунке 1.8.

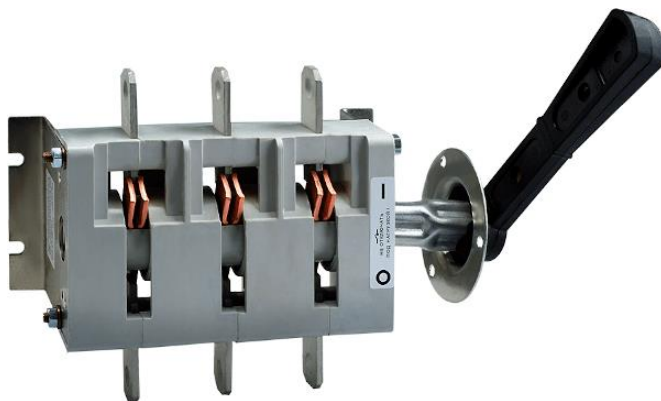


Рисунок 1.8 – Общий вид выключателя-разъединителя серии ВР

По виду рукоятки ручного привода ВР могут выполняться: без рукоятки; боковая рукоятка; передняя смещенная рукоятка; боковая смещенная рукоятка.

По числу полюсов и числу направлений они выпускаются: однополюсный, двухполюсный, трехполюсный выключатель-разъединитель на одно и на два направления.

Контакторы – аппараты дистанционного действия, по сути, является одним из типов электромагнитных реле, предназначенные для частых включений и отключений (от 30 до 3600 раз за час) силовых электрических цепей при нормальных режимах работы. Для защиты от токов КЗ последовательно с контактором устанавливают плавкие предохранители или автоматические выключатели без дистанционного управления. Электродинамическая и термическая стойкость контакторов не нормируется.

Электромагнитные контакторы нашли широкое применение в электроустановках, выпускаются контакторы постоянного и переменного тока. Контакторы постоянного тока изготавливаются одно- и двухполюсные, в зависимости от категории рассчитаны на коммутацию токов от $I_{ном}$ до $10 I_{ном}$ до 630 А. На переменном токе применяются контакторы при напряжении до 690 В и токах до 1600 А, они могут быть одно-, двух-, трех-, четырех- и пятиполюсными.

Контакторы рассчитаны на работу в прерывисто-продолжительном, продолжительном, повторно-кратковременном или кратковременном режимах, состоят из электромагнитной системы, дугогасительного устройства, системы главных и вспомогательных контактов.

В отличие от автоматических выключателей контакторы не имеют механических устройств, запирающих контактор в положении «включено». Замыкание и размыкание контактов контактора осуществляется с помощью электромагнитного привода (рисунок 1.9).

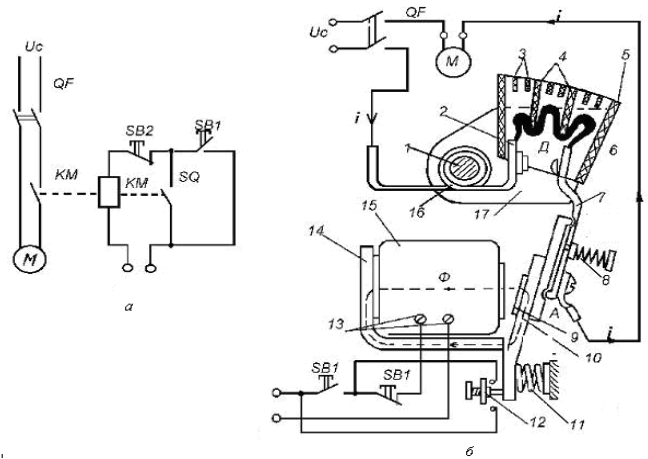


Рисунок 1.9 – Электромагнитный контактор КМ

На рисунок 1.9, а показана схема управления однополюсным контактором. Главные контакты контактора КМ включены в цепь двигателя М, а катушка - в цепь управления последовательно с кнопками управления SB1, SB2 и вспомогательными контактами SQ.

На конструктивной схеме (рисунок 1.9, б) контактор изображен в момент отключения, когда напряжение с катушки 15, установленной на сердечнике 14, снято и подвижная система под действием пружины 11 пришла

в нормальное положение. Дуга (на рис. обозначена Д), возникшая между контактами 2 и 7, гасится в камере 5 с изоляционными перегородками 4. Втягивание дуги в камеру происходит за счет магнитного поля (на рис. направление магнитного потока обозначено Φ), созданного магнитной системой, состоящей из катушки 16, включенной последовательно в главную цепь, стального сердечника 1 и полюсных наконечников 17. На выходе из камеры установлена пламегасительная решетка 3, препятствующая выходу ионизированных газов за пределы камеры.

Управление контактором может осуществляться с помощью кнопок, рубильников, реле, ключей управления.

Для включения контактора подается напряжение на зажимы катушки 13 путем нажатия кнопки SB1. В катушке создается магнитный поток, притягивающий якорь 10 к сердечнику. На якоре укреплен подвижный контакт 7, который после соприкосновения с неподвижным контактом 2 скользит по его поверхности, разрушая пленку окислов на поверхности контактов. Нажатие в контактах создается пружиной 8. Контактные накладки 6 из серебра обеспечивают минимальное переходное сопротивление. В некоторых случаях накладки выполняются из дугостойкой металлокерамики. Контактор удерживается во включенном положении своей катушкой. После включения контактора замыкаются вспомогательные контакты 12 (SQ), шунтирующие кнопку SB1, поэтому размыкание пусковой кнопки КМ не разрывает цепь катушки 15.

На якоре 10 предусмотрена немагнитная прокладка из латуни 9, которая уменьшает силу притяжения, обусловленную остаточной индукцией в сердечнике. Таким образом, при снятии напряжения с катушки 15 якорь не «залипает». При значительном снижении напряжения в цепи управления, а также при его исчезновении контактор автоматически отключается.

Для отключения контактора достаточно нажать на кнопку SB2, которая разомкнет цепь питания катушки 15.

Основные технические данные контакторов:

- 1) номинальный ток главных контактов (ток прерывисто-продолжительного режима работы);
- 2) предельный отключаемый ток;
- 3) номинальное напряжение;
- 4) механическая износостойкость (определяется числом включений – отключений контактора без ремонта и замены его узлов. Ток в цепи при этом равен нулю. В современных контакторах механическая износостойкость равна $(10-20) \times 10^6$ операций);
- 5) электрическая износостойкость (определяется числом включений и отключений цепи с током, после которых требуется замена износившихся контактов. В современных контакторах электрическая износостойкость равна 2–3 млн операций);
- 6) допустимое число включений в час;
- 7) собственное время включения (состоит из времени нарастания потока до значения потока трогания и времени движения якоря);

8) собственное время отключения (время с момента обесточивания электромагнита до размыкания контактов).

Наибольшее распространение в электроустановках напряжением до 1 кВ получили трехполюсные контакторы.

Магнитный пускатель - это коммутационный аппарат, предназначенный для пуска, останова (с частотой 1200 включений в час) и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Пускатель обычно представляет собой модифицированный контактор, он может быть укомплектован дополнительными устройствами, такими как: тепловое реле для аварийного отключения двигателя; дополнительной слаботочной контактной группой или группами, используемыми в цепях управления; или кнопкой пуска. Иногда пускатели снабжаются устройством аварийного отключения при потере одной из фаз трёхфазной сети питания ЭД, при этом мгновенное размыкание контактов произойдет не только, после намеренного отключения питания, но и если напряжение в сети упадет больше, чем на 60% от номинального значения.

Наиболее распространенными сериями являются ПМЛ, ПМА, ПА, ПМБ. Пускатели могут быть реверсивными (путём изменения порядка следования фаз, для чего в пускатель встраивается второй контактор) и нереверсивными, в открытом, защищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнении, с тепловыми реле и без них. Магнитные пускатели применяются для управления электродвигателями переменного тока напряжением до 660 В, мощностью до 75 кВт. Электрическая и конструктивная схема магнитного пускателя серии ПАЕ показана на рисунке 1.10.

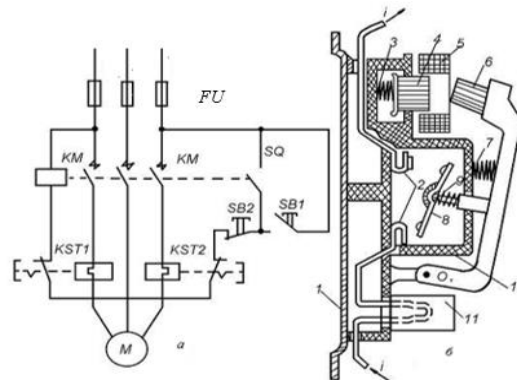


Рисунок 1.10 – Магнитный пускатель серии ПАЕ:
а – электрическая схема; б – конструктивная схема

При нажатии кнопки *SB1* подается питание в катушку 5 контактора *KM* через размыкающиеся контакты тепловых реле *KST1*, *KST2* и кнопку *SB2*. Якорь электромагнита 6 притягивается к сердечнику 4, вращаясь вокруг оси O_1 . При этом неподвижные контакты 2 замыкаются подвижным контактным мостиком 8. Нажатие в контактах обеспечивается пружиной 9. Одновременно замыкаются вспомогательные контакты *SQ* (рисунок 1.10, а), которые шунтируют кнопку *SB1*. При перегрузке электродвигателя срабатывают оба или одно тепловое реле 11, цепь катушки размыкается

контактами $KST1$ и $KST2$. При этом якорь 6 больше не удерживается сердечником и под действием собственной массы и пружины 7 подвижная система переходит в отключенное положение, размыкая контакты. Двукратный разрыв в каждой фазе и закрытая камера 10 обеспечивают гашение дуги без специальных устройств. Точно так же происходит отключение пускателя при нажатии кнопки $SB2$.

Амортизирующая пружина 3 предохраняет подвижную часть от резких ударов при включении. Все детали пускателя крепятся на металлическом основании 1. Для защиты электродвигателя от КЗ в цепь включены предохранители (FU).

Магнитный пускатель защищает ЭД от перегрузки с помощью тепловых реле и понижении напряжения отключает его при снижении напряжений до 50 – 60 % U_n . Предусмотрена нулевая защита с помощью нормально-открытого контакта пускателя, предотвращающая самопроизвольное включение пускателя при внезапном появлении напряжения. Для уменьшения пускового тока двигателя также применяется переключение обмоток ЭД со «звезды» на «треугольник». При такой схеме включения двигатель разгоняется до номинальных оборотов будучи включённым по схеме «звезда» и переключается на питание по схеме «треугольник» в нормальном режиме работы.

Тепловые реле – важный элемент в защите электрооборудования. С его помощью устройство защищается от перегрузок, а его характеристики позволят переносить кратковременные скачки тока без ложных срабатываний, чего не может обеспечить автоматический выключатель. При перегрузке электродвигателя элементы тепловых реле нагревают биметаллическую пластину, изготовленную из сплавов, имеющих разные коэффициенты линейного расширения, которые при нагрузке изгибаются и размыкают цепь катушки. Тепловые реле, например РТЛ – крепятся на контакты пускатели ПМЛ или как самостоятельное защитное устройство (может размещаться в щитке на DIN-рейке и в электрошкафах). Магнитные пускатели не предназначены для разрыва цепи при коротком замыкании, так как его силовые контакты не рассчитаны на отключение токов короткого замыкания. Поэтому последовательно с магнитными пускателями устанавливаются предохранители или автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями для защиты от токов КЗ. В отличие от автомата тепловое реле не разрывает силовые цепи, а только отключает цепь управления магнитного пускателя. Нормально включенный контакт теплового реле работает подобно кнопке «стоп» пускателя, и соединяется с ней по последовательной схеме. В тепловом реле есть два режима работы – автоматический, когда после остывания тепловое реле включает контактор без участия человека, и ручной, когда оператор должен устранить причину срабатывания и вручную включить реле.

Современный модульный контактор — это электромагнитный пускатель, сконструированный для установки в электрические распределительные щиты для стандартных модульных устройств с

креплением на DIN-рейку. Их достоинства: электробезопасность для операторов и неквалифицированного персонала. Недостатки: максимальное число коммутационных операций в день до 100. Исполнительным механизмом пускателей для включения и отключения нагрузки служит контактор. Современные пускатели, автоматические выключатели и УЗО можно размещать в одном ящике и на одну DIN-рейку.

1.2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Провести внешний осмотр выданного преподавателем аппарата ручного управления, определить его состояние. По внешним признакам определить исправность аппарата.
2. При помощи инструмента произвести разборку аппарата. Определить техническое состояние отдельных деталей аппарата.
3. Описать устройство и принцип действия аппарата, записать его буквенно-цифровое обозначение, условия выбора.
4. Сделать эскиз указанных преподавателем деталей аппарата.
5. Собрать аппарат.

1.3 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание устройства и принципа действия исследуемого аппарата, расшифровка его буквенно-цифрового обозначения.
3. Эскиз исследуемого аппарата.
4. Вывод.

1.4 Контрольные вопросы

1. Из каких материалов изготавливаются контакты?
2. Какие существуют конструкции коммутирующих контактов?
3. Какую конструкцию имеют контакты кнопок управления, рубильников, пакетных выключателей и переключателей, выключатели-разъединители, контроллеры и командоконтроллеры?
4. Как происходит гашение дуги (постоянного и переменного тока) в пакетном выключателе и других аппаратах?
5. Вследствие каких явлений происходит износ контактов?
6. Укажите назначение кнопок управления, рубильников, разъединителей, выключателей-разъединителей, пакетных выключателей и переключателей, контроллеры и командоконтроллеры.
7. Из каких деталей состоит кнопка управления, контроллеры и командоконтроллеры?
8. Из каких деталей состоит рубильник, разъединитель?
9. Из каких деталей состоит пакетный выключатель?
10. Характеристика теплового реле.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучить устройство, конструкции и принцип действия низковольтных предохранителей и автоматических выключателей, применяемых в системах электроснабжения и в электроприводах.
2. Сравнить времятоковые характеристики различных типов плавких предохранителей.
3. Снять времятоковую характеристику автоматического выключателя и сравнить ее с расчетной.

2.1 Краткие теоретические сведения

Плавкий предохранитель — это электрический аппарат, предназначенный для защиты электрических цепей от сверхтоков (токов перегрузки и токов короткого замыкания). Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая последовательно с защищаемой цепью, и корпус предохранителя с дугогасительным устройством.

В настоящее время используют предохранители, различающихся по принципу срабатывания и рабочему элементу:

- Предохранители с плавкой вставкой представляют собой электрический расцепитель, размыкающий электрическую цепь, реагируя на превышение расчетной номинальной нагрузки посредством расплавления вставки. Последующее использование аппарата возможно лишь при замене вставного элемента.
- Самовосстанавливающиеся предохранители после срабатывания могут использоваться повторно благодаря особым вставкам, изменяющим проводимость при изменении температуры в результате повышенных токов.

По конструктивному исполнению предохранители могут быть разборными (ПР) и неразборными (НПН), с наполнителем (ПН-2, ППН) или без него. В качестве наполнителя в предохранителях используется кварцевый песок. Дуга в них гасится в канале, образованном песчинками кварцевого песка. Предохранители обладают токоограничивающим эффектом, например, ППН имеют высокую отключающую способность до 100кА, а также оснащены дополнительно указателем срабатывания и свободным контактом.

Эффект токоограничения заключается в том, что при большом токе тонкая проволока плавкой вставки плавится и испаряется за тысячные доли секунды по всей длине.

В канале дугового разряда создается высокое давление, интенсивно проходят процессы деионизации дугового столба, сопротивление дуги резко возрастает, ограничивая ток и срезая его до нулевого значения - до момента

естественного перехода тока через ноль, т.е. много раньше, чем ток в цепи при КЗ успеет достигнуть установившегося значения (штриховая кривая) на рис. 2.1.

Таким образом, величина тока КЗ ограничивается в 2-5 раз. Возникающие при срезе тока ЭДС самоиндукции, накладываясь на напряжение сети, создают коммутационные перенапряжения. Специальными конструктивными мерами наибольшие допустимые перенапряжения, возникающие между выводами токоограничивающего предохранителя при отключении ограничивают так, чтобы они не превышали допустимых значений.

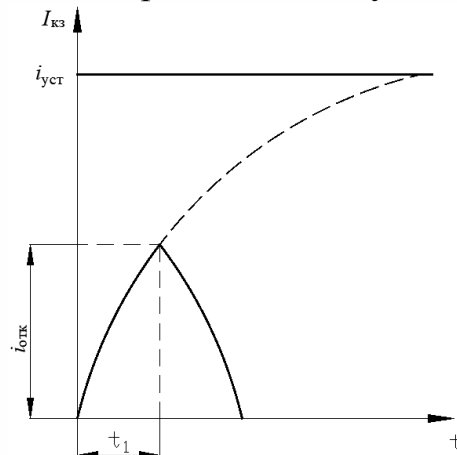


Рисунок 2.1 – Отключение тока КЗ токоограничивающим предохранителем

Материалы для плавких вставок должны иметь малое удельное сопротивление, небольшую температуру плавления и, кроме того, быть стойкими к окислению. В современных предохранителях для плавких вставок обычно применяются медь, цинк, серебро.

Предохранители ПН-2 – с мелкозернистым наполнителем. Их корпус квадратного сечения 1 (рисунок 2.2) изготавливается из прочного фарфора или стеатита. Внутри корпуса расположены ленточные плавкие вставки 2 и наполнитель – кварцевый песок 3. Плавкие вставки привариваются к диску 4, который крепится к пластинам 5, связанным с ножевыми контактами 9. Пластины 5 крепятся к корпусу винтами.

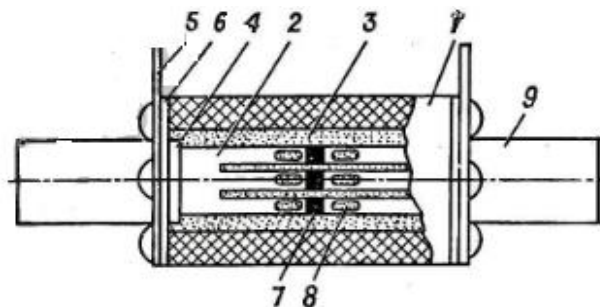


Рисунок 2.2 – Устройство предохранителя ПН-2

Плавкая вставка выполняется из медной ленты толщиной 0,1–0,2 мм, которая имеет суженные участки 8. Для снижения температуры плавления на

вставки наносятся оловянные полоски 7, обеспечивающие металлургический эффект. Плавкая вставка разделена на три параллельные ветви для более полного использования кварцевого песка. Этим обеспечивается гашение дуги за несколько миллисекунд.

После срабатывания предохранителя плавкая вставка вместе с диском 4 заменяется, корпус засыпается высушенным кварцевым песком. Для герметизации корпуса предохранителя под пластины 5 кладется асбестовая прокладка 6. Предохранители серии ППН это модификация предохранителей ПН-2. Предохранители серии ППН в отличие от предохранителей ПН-2 обладают меньшими габаритами и меньшими потерями мощности, при проведении электрического тока.

Зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем от тока называют времятоковой или защитной характеристикой и показана на рисунке 2.3.

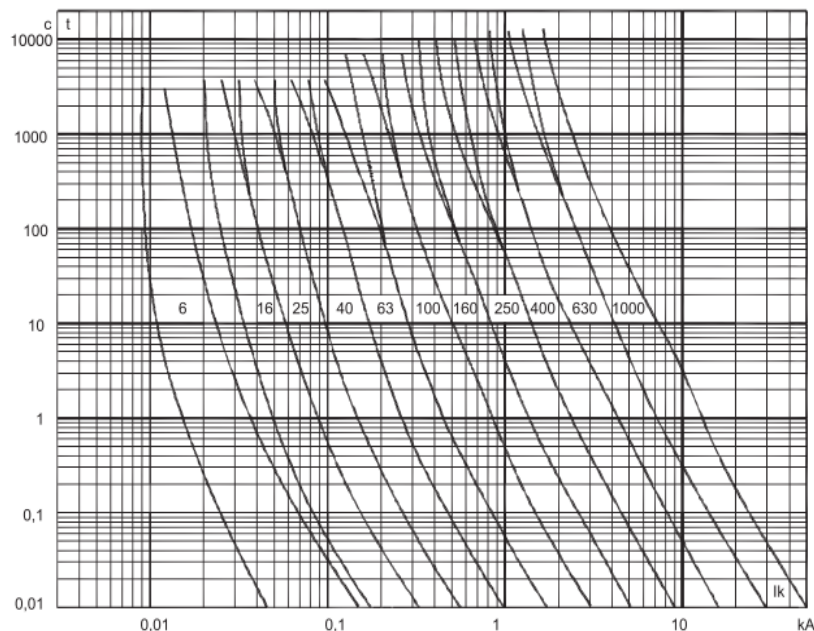


Рисунок 2.3 – Времятоковые характеристики предохранителей типа ППН

Крутизна защитной характеристики предохранителя определяет быстрдействие срабатывания предохранителя и, следовательно, надежность защиты.

Преимущества предохранителей серии ППН:

- Благодаря конструкции плавких элементов и их расположения обеспечивают гарантированную защиту защищаемых цепей и установок.
- Оптимальные показатели потерь мощности за счет современной конструкции, технологии изготовления и применяемых материалов позволяют экономить электроэнергию при их эксплуатации.
- Высокие эксплуатационные показатели – длительный срок службы, простота обслуживания.

- Большой диапазон номинальных токов позволяет сделать оптимальный выбор предохранителя в соответствии с параметрами защищаемой цепи.

- Соответствие габаритных размеров и характеристик международным стандартам позволяет применять предохранители ППН вместо импортных и отечественных аналогов.

- Предохранители производятся серийно в соответствии с современными отечественными и международными стандартами, что подтверждает сертификат соответствия.

В таблице 2.1 приведены обозначение предохранителей ППН.

Таблица 2.1. Обозначение предохранителей серии ППН

ППН- X_1X_2 - X_3X_4 - X_5 - X_6 ...А-УХЛЗ

Часть названия	Расшифровка
ППН	Серия (предохранитель плавкий наполненный)
X_1X_2	Условное обозначение габарита 33 - 160А, 35 - 250А, 37 - 400А, 39 - 630А;
X_3	Условное обозначение комплектации: 2 – на собственном основании (предохранитель); X – без основания (плавкая вставка)
X_4	Условное обозначение указателя срабатывания: 0 – без указателя срабатывания; 3 – с указателем срабатывания
X_5	Габарит – 00С; 00; 0; 1; 2; 3; 4
X_6 ...А	Номинальный ток плавкой вставки, А
УХЛЗ	Климатическое исполнение по ГОСТ 15150: УХЛЗ

ППН-33-Х0-00С-80А-УХЛЗ – предохранитель плавкий с номинальным током плавкой вставки 80А, без указателя срабатывания, габарит – 00С, для умеренного и холодного климата, для размещения в крытых помещениях без регулирования температурных условий с естественной вентиляцией.

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать требования, предъявляемые к предохранителям:

1. Времятоковая характеристика предохранителя должна проходить ниже, но возможно ближе к времятоковой характеристике защищаемого объекта.

2. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимальным, особенно при защите полупроводниковых приборов. Предохранители должны работать с токоограничением.

3. При коротком замыкании в защищаемой цепи предохранители должны обеспечивать селективность.

4. Характеристики предохранителей должны быть стабильными, а технологический разброс параметров не должен сказываться на надежности защиты.

5. Предохранители должны обладать высокой отключающей способностью.

6. Конструкция предохранителя должна обеспечивать возможность быстрой замены плавкой вставки при ее перегорании.

Достоинства плавких предохранителей следующие:

- а) высокая отключающая способность;
- б) ограничение тока КЗ;
- в) при сверхтоках отключаются только те фазы в которых возникает ток КЗ или перегрузки (это важно для однофазных ЭП);
- г) обеспечение селективности защиты электроустановок;
- д) простота конструкции;
- е) небольшая стоимость.

Предохранители имеют следующие недостатки:

- 1) плавкие элементы с течением времени стареют (исключение – плавкие элементы из серебра), вследствие чего они ложно срабатывают при пусковых токах или кратковременных перегрузках;
- 2) плавкие вставки имеют значительный разброс времени срабатывания в зависимости от состояния (холодного или горячего) плавкого элемента;
- 3) плавкая вставка однократного действия, поэтому после срабатывания ее необходимо заменять, что требует дополнительного времени;
- 4) плавкие предохранители не защищают электрооборудование при незначительных перегрузках. Они надежно срабатывают только при трехкратных (и более) перегрузках по току;
- 5) плавкие предохранители не рекомендуются для защиты силовых цепей асинхронных электродвигателей. Это связано с возникновением неполнофазных режимов работы в трехфазных сетях.

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей. Как правило, автоматические выключатели выполняют функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменениях направления передачи мощности или тока и т.п. Автоматы удобны, безопасны в обслуживании, обеспечивают надежную защиту, используются в электроустановках большой мощности.

Независимо от назначения автоматы состоят из следующих основных узлов:

- а) контактной системы;
- б) дугогасительной системы;
- в) привода;
- г) механизма свободного расцепления;
- д) расцепителей;
- е) коммутатора с блок-контактами.

Контактная система автоматов должна находиться под нагрузкой не отключаясь весьма длительное время и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Широкое распространение получили двухступенчатые (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные и дугогасительные) контактные системы.

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток переходит в параллельную цепь дугогасительных контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорали. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая поднимается вверх и гасится в дугогасительной камере.

Привод в автомате служит для включения автомата по команде оператора. Автоматы выполняются:

- 1) с ручным приводом непосредственного действия;
- 2) с дистанционным приводом (ручным, соленоидным, моторным, пневматическим).

Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен:

- а) для исключения возможности удерживать контакты автомата во включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;
- б) обеспечения моментального отключения, т.е. не зависящую от операторов, рода и массы привода скорость расхождения контактов.

Этот механизм представляет собой систему шарнирно-связанных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые связаны с отключающей пружиной. Он позволяет автомату отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения, когда включающая сила воздействует на подвижную систему автомата (рисунок 2.4).

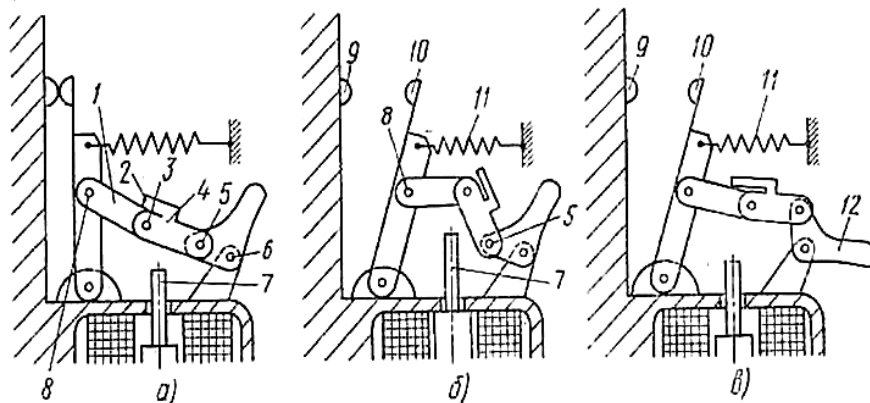


Рисунок 2.4 – Принцип работы механизма свободного расцепления:

- а) при включении, б) при отключении, в) при взводе;

1,4 – звенья рычагов, 2 - ограничительный упор, 3,5,6,8 – шарнирные оси, 7 – шток отключающего электромагнита, 9,10 – контакты, 11 – пружина, 12 – рукоятка

Расцепители – элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

В автоматических выключателях применяются следующие расцепители:

- 1) электромагнитный максимального тока (предназначен для защиты проводников и электрооборудования от токов КЗ);
- 2) электромагнитный максимального тока с гидравлическим замедлением срабатывания (обеспечивает зависимость от тока выдержку времени – защищает от токов перегрузки и КЗ);
- 3) полупроводниковый. Главные его преимущества состоят в широких диапазонах регулирования токов и времени срабатывания, а также в более тонкой и точной регулировке;
- 4) тепловой (предназначен для защиты электрической цепи от токов перегрузок). По конструкции и принципу действия аналогичен тепловым реле;
- 5) комбинированный (максимального тока и тепловой);
- 6) минимального напряжения;
- 7) независимый;
- 8) электромагнитный максимального тока в нулевом проводе;
- 9) электромагнитный максимального тока для цепей управления.

Первые 5 типов расцепителей автоматических выключателей основные, остальные – дополнительные.

Полупроводниковые расцепители состоят из измерительного элемента, блока полупроводниковых реле и выходного электромагнита, воздействующего на механизм свободного расцепления выключателя. В качестве измерительного элемента используется трансформатор тока (на переменном токе) или дроссельный магнитный усилитель (на постоянном токе). Полупроводниковый расцепитель тока допускает регулировку следующих параметров: номинального тока расцепителя; уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания (ток отсечки); уставки по времени срабатывания в зоне токов нагрузки; уставки по времени срабатывания в зоне токов короткого замыкания (для селективных выключателей). Во многих автоматических выключателях применяют комбинированные расцепители, использующие тепловые элементы для защиты от токов перегрузок и электромагнитные для защиты от токов коротких замыканий без выдержки времени (отсечки).

Минимальный и нулевой расцепители могут выполняться с выдержкой времени и без выдержки времени. С помощью независимого или минимального расцепителя возможно дистанционное отключение автоматического выключателя.

Наибольшее применение имеют автоматы с комбинированным нерегулируемым расцепителем т.е. тепловым и электромагнитным. Тепловой расцепитель обеспечивает защиту от перегрузки с обратно зависимой характеристикой, а электромагнитный - от токов короткого замыкания без выдержки времени.

Выключатель также имеет дополнительные сборочные единицы, которые встраиваются в выключатель или крепятся на нем снаружи. Ими могут быть независимый, нулевой или минимальный расцепители напряжения, свободные или вспомогательные контакты, ручной, электромагнитный или электродвигательный привод, сигнализация автоматического отключения, устройство для запираания выключателя в положении «Отключено». Независимый расцепитель представляет собой электромагнит с питанием от постороннего источника напряжения.

Блок-контакты служат для производства переключения в цепях управления, блокировки, сигнализации в зависимости от коммутационного положения автомата. Они выполняются нормально разомкнутыми (замыкающими) и нормально замкнутыми (размыкающими).

Согласно стандарта МЭК 60947 – 2 (ч. II) определяется две категории автоматических выключателей: «А» и «В».

Аппараты категории «А» предназначены для общего применения и представляют собой токоограничивающие автоматы. Их основной функцией является эффективное ограничение тока. Они не предусматривают возможности протекания сквозных токов КЗ через автоматы и не обеспечивают селективность по времени.

Автоматические выключатели категории «В» с полупроводниковыми расцепителями являются селективными защитными аппаратами, специально предназначенными для обеспечения избирательности защиты при сверхтоках. Эти аппараты допускают протекание сквозных токов КЗ в течение определенного промежутка времени (до 3 с) и обеспечивают временную селективность благодаря наличию уставок по времени срабатывания. Такие автоматы устанавливаются в главных распределительных щитах ТП.

В таблице 2.2 приведены технические данные выключателей серии ВА5Х.

Таблица 2.2. Технические данные автоматические выключатели серии ВА

Серия выключателя	Разновидности выключателей и их расцепители	Номинальные токи расцепителей, А	Кратность тока отсечки по отношению к $I_{ном.р}$ (пределы срабатывания отсечки).
ВА 51	Неттокоограничивающие с комбинированным и или только с электромагнитным и расцепителями	0,3 до 630	3;7;10;12;14
ВА 52	Токоограничивающие с комбинированным	16 до 630	3;7;10;12

	и или только с электромагнитным и расцепителями		
ВА 55	Селективные с электронными расцепителями	160 до 1600	2;3;5;7;10
ВА 75	Селективные с электронными расцепителями	2500; 4000	2;3;5;7

Автоматические выключатели по конструкции делятся на 3 группы:

1) все полюса расположены в одном блоке (корпусе), обеспечивается однократный разрыв электрической цепи (АЕ2000, А3700, ВА51-25);

2) все полюса расположены в одном блоке (корпусе), обеспечивается двойной разрыв электрической цепи. Такие аппараты, как ВА13, ВА21, АК50Б, АК63-МГ, содержат электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлением срабатывания или только электромагнитный расцепитель;

3) каждый полюс расположен в своем корпусе (модуле). Такую конструкцию имеют современные автоматические выключатели серий S200, ВА14, ВА16, ВА22, ВА47, ВМ40, ВА61F29, В А77.

Автоматические выключатели 3-й группы имеют отличительные черты: – крепление на монтажной рейке (DIN-рейке); – модульность, т. е. двух-, трех- и четырехполюсные выключатели состоят из соответствующего числа одиночных однополюсных выключателей (модулей).

DIN-рейка — профиль из металла, который используется для крепления автоматических выключателей, устройств защитного отключения (УЗО) и другого модульного оборудования.

На DIN -рейку можно ставить множество наименований:

- дифавтоматы с защитой от сверхтоков;
- выключатели нагрузки на токи до 63А;
- модульные автоматы на переменный ток до 125А и 63А, на постоянный — до 50А;
- электромеханические модульные контакторы для распределительного щита;
- ограничители тока до 63А;
- УЗО на токи до 100А;
- устройства по защите от перенапряжения для систем энергоснабжения.

На токи от 0,5 до 63А удобно применять модульные автоматические выключатели, которые крепятся на DIN-рейку. Модельный ряд автоматических выключателей Schneider Electric серии Acti 9 с времятоковыми характеристиками типа *B, C, D, K, L, Z, MA* позволяет применять их в офисах, промышленности, энергетике, медицине.

В зависимости от величины $K_{то}$ имеется несколько видов защитных характеристик автоматов, основными из которых являются *B*, *C*, *D* (таблица 2.4, рисунок 2.5).

Защитная характеристика, представленная на рисунке 2.5 имеет две зоны: первая (для небольших значений сверхтоков) – осуществляется защита от перегрузки тепловым расцепителем с обратно зависимой от тока характеристикой; вторая обеспечивает защиту мгновенного действия (токовую отсечку) КЗ с помощью электромагнитного расцепителя. Таким образом, одна часть графика (верхняя) отражает зависимость времени отключения теплового расцепителя (биметаллической пластины) от тока длительной перегрузки, а вторая часть (нижняя) – электромагнитного расцепителя от тока КЗ при соответствующих кратностях токовой отсечки $K_{то}$.

Таблица 2.4. Применение кривых отключения в зависимости от нагрузки

Характеристика	Кратность тока отсечки $K_{то}$		Применение
	мин	макс	
<i>B</i>	3	5	Применяются в осветительных электросетях общего назначения, а также, для защиты потребителей преимущественно с активной нагрузкой и протяжённых линий. Рекомендуются для установки в отходящих линиях для обеспечения селективности с вышестоящими автоматами.
<i>C</i>	5	10	Применяются в цепях общего назначения: цепи освещения, бытового и промышленного назначения. Автоматы с кривой отключения «С» являются самыми распространёнными.
<i>D</i>	10-20 и более		Применяются в цепях, в которых в качестве нагрузки используются электрические двигатели со значительными пусковыми токами или частыми запусками, а также электрические цепи с активно-индуктивной нагрузкой.

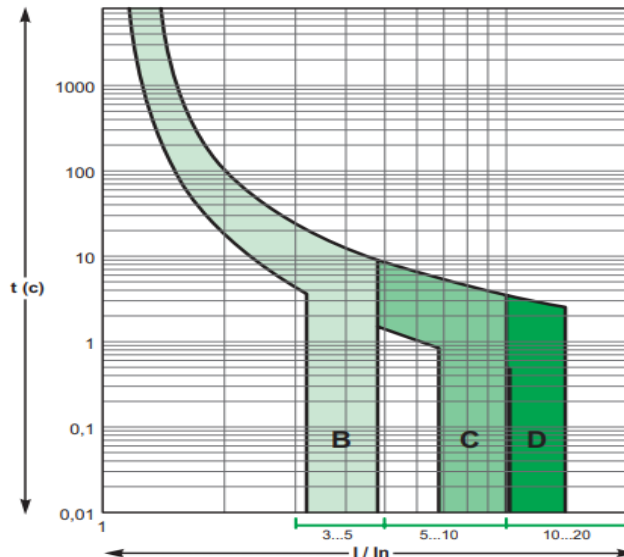


Рисунок 2.5 – Времятоковая характеристика автоматического выключателя Schneider Electric серии Easy9

Достоинства автоматических выключателей по сравнению с плавкими предохранителями:

1. Обеспечивает более надежное отключение при отклонении от заданного параметра, это защитное устройство многократного действия.
2. Обеспечивает более стабильное время отключения.
3. При защите трехфазного устройства не возможна его работы при отсутствии одной из фаз.
4. Значительно сокращается время простоя электрооборудования, так как на включение сработавшего автомата требуется меньше времени, по сравнению с предохранителем.

Недостатки автоматических выключателей по сравнению с плавкими предохранителями:

1. Более высокая стоимость.
2. Невозможность замены под напряжением.
3. Периодическое обслуживание и проверка.

2.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1. Для исследования свойств автоматического выключателя необходимо собрать схему рисунок 2.6 и снять времятоковую характеристику теплового расцепителя.

2. Включать ЛАТР (Т2) и устанавливать ток нагрузки через автомат, равный $1,5I_{н.р.}$. Отключить ЛАТР, дать остыть тепловому расцепителю (3 минуты) и установить секундомер на ноль. Вновь включить ЛАТР и дождаться срабатывания теплового расцепителя и отключения автоматического выключателя. Зафиксировать время по секундомеру и «сбросить» его показания. Отключить ЛАТР и после паузы (5 мин) включить ЛАТР, автоматический выключатель, установить новое значение тока и повторить

опыт. Полученные значения занести в таблицу 2.5 и построить времятоковую характеристику теплового расцепителя.

3.

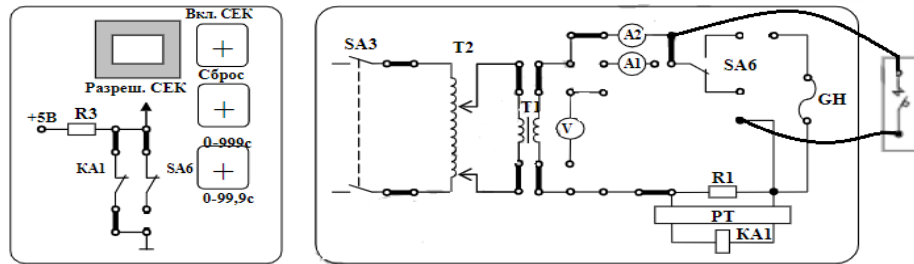


Рисунок 2.6

Таблица 2.5 Результаты опыта

Номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном.р}}, \text{A}$						
Ток нагрузки $I_{\text{нагр}}, \text{A}$						
Кратность тока нагрузки $I_{\text{нагр}} / I_{\text{ном.р}}, \text{A}$						
Время срабатывания $t_{\text{ср}}, \text{с}$						

2.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие торические сведения, пояснение устройства и паспортные данные предохранителя и автоматического выключателя.
3. По заданию преподавателя сравнить времятоковые характеристики нескольких типов плавких предохранителей (автоматов).
4. По данным проведенного опыта построить расчетные времятоковые характеристики автоматического выключателя.
5. Для заданной преподавателем схемы питания ЭП построить карту селективности.
6. Вывод.

2.4. Контрольные вопросы

1. Назначение и основные параметры автоматических выключателей и предохранителей.
2. Основные требования, предъявляемые к защитным аппаратам.
3. Понятие о времени срабатывания. Как по времятоковой характеристике определить время срабатывания защитного аппараты при заданном токе перегрузки (короткого замыкания).
4. Основные узлы автоматов и их назначение.

5. Функции и виды расцепителей (привести защитные характеристики).
6. Требования к материалам из которых изготовлены плавкие вставки предохранителей.
7. Условия выбора и проверки предохранителей и автоматических выключателей.
8. Особенности применения автоматических выключателей вместо предохранителей.
9. Понятие о селективности защит.
10. Нарисуйте защитную характеристику плавкого предохранителя и автоматического воздушного выключателя на одном графике.
11. Пояснить смысл времятоковых характеристик защитных аппаратов.
12. Какие аппараты применяют для защиты полупроводниковых приборов? В чем их особенность?
13. От каких параметров зависит время срабатывания защитного аппарата?

Лабораторная работа №3

УСТРОЙСТВО И КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить устройство и конструктивное исполнение электрических сетей на напряжении до 1 кВ.

3.1 Краткие теоретические сведения

Система электроснабжения (СЭС) является частью электроэнергетики промышленности, транспорта, агропромышленного комплекса и всех остальных составляющих, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность граждан. СЭС может быть разделена на несколько характерных уровней от границы раздела «предприятие – энергосистема» до отдельных электроприемников (рисунок 3.1). Число уровней зависит от схемы электроснабжения, мощности потребителей электроэнергии и их размещения на территории предприятия.

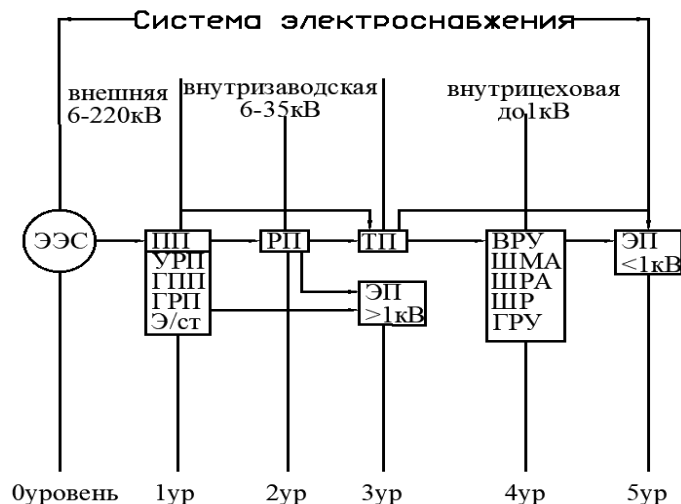


Рисунок 3.1 – Структурная схема электроснабжения приемников промышленного предприятия:

ЭЭС – электроэнергетическая система; ПП – пункт приема электроэнергии на предприятии; УРП – узловaя распределительная подстанция; ГПП – главная понизительная подстанция; ГРП – главный распределительный пункт; Э/ст – собственная электростанция; РП – распределительный пункт; ТП – цеховая трансформаторная подстанция; ВРУ – вводно – распределительное устройство; ШМА – магистральный шинопровод; ШРА – распределительный шинопровод; ШР – распределительный шкаф; ЭП – электроприемники

Рассмотрим внутрицеховое электроснабжение напряжением до 1 кВ. Источникам питания в системе внутреннего электроснабжения цехов

являются ТП (6)10/(0,4)0,23 кВ к которым через коммутационные и защитные аппараты присоединяются проводники, магистральные шинопроводы (МШ) запитывающие отдельное крупное электрооборудование или группы электроприемников через силовые пункты, распределительные, троллейные и осветительные шинопроводы. щитки освещения и др. Также источниками питания могут быть главные распределительные устройства или вводно – распределительные устройства.

Электрические сети напряжением до 1кВ условно делятся на питающие и распределительные.

Питающие внутрицеховые сети на промышленных предприятиях строятся по *магистральным* схемам, где широко применяются шинопроводы. В ТП магистральные шинопроводы подключаются к небольшим распределительным устройствам через линейный автоматический выключатель или наглухо.

Радиальные схемы питающих сетей внутри помещений применяются в том случае, если магистральные схемы не могут быть приняты из-за территориального расположения потребителей или неблагоприятных условий окружающей среды, при повышенных требованиях к надежности электроснабжения, а также по технико-экономическим соображениям.

Распределительные внутрицеховые сети выполняются по магистральной, радиальной или смешанной схеме.

Магистральные схемы, выполненные распределительными шинопроводами, применяются для электроснабжения групп электроприемников относительно небольшой мощности, равномерно распределенных по производственной площади.

Радиальные схемы следует предусматривать в тех случаях, когда применению распределительных шинопроводов препятствуют условия окружающей среды и территориальное размещение электроприемников. Радиальные схемы обеспечивают большую надежность питания отдельных потребителей, т.к. при аварии отключается только поврежденная линия. Радиальные схемы легче автоматизировать, однако они требуют больших капитальных затрат и имеют худшие экономические показатели.

Радиальные схемы строятся с применением распределительных панелей, щитов, силовых пунктов, шкафов управления и т.д.

Смешанные схемы строятся с применением шинопроводов и распределительных пунктов.

Распределительная сеть в цехах промышленных предприятий с нормальной средой может быть выполнена в виде модульной электропроводки. Такую проводку целесообразно применять в помещениях, где электроприемники располагаются по всей площади, а также там, где часто производится смена или перемещение технологического оборудования.

Для электроснабжения силовых электроприемников следует выбирать экономически выгодные схемы, обеспечивающие необходимую надежность, безопасность и удобство эксплуатации электроустановок.

Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ выполняются в виде шинопроводов, кабельных линий и электропроводок.

Электрические сети напряжением до 1 кВ различаются между собой в зависимости от конструкции, способов изоляции и прокладки проводников. Выбор конструктивного исполнения сети зависит от ее назначения, расстановки производственного оборудования, требований к надежности электроснабжения электроприемников, условий окружающей среды, размещения ТП, вероятности изменения технологического процесса, вызывающего перемещение или замену оборудования и т.п.

По способу изоляции сети могут быть разделены на две группы:

- 1) выполненные неизолированными проводами и шинами;
- 2) выполненные изолированными проводами.

К первой группе относятся воздушные линии и шинопроводы, а ко второй – кабельные линии и электропроводки.

Воздушные линии напряжением до 1 кВ на промышленных предприятиях применяются ограничено. Их используют в основном в сельских сетях, в сетях наружного электрического освещения, а также для питания обособленных маломощных потребителей, расположенных на периферии предприятия или за его пределами, а также в сельских сетях. Самый простой и дешевый способ – неизолированными (голыми) проводами или шинами. Все потребители электроэнергии (жилые дома, постройки хозяйственного назначения и др.) в таких сетях подключаются к воздушным линиям отпайками, выполняемыми, как правило, изолированными проводами с целью обеспечения пожаро- и электробезопасности.

На современных промышленных предприятиях применяются самонесущие изолированные провода (СИП) с более высокими эксплуатационными свойствами так как в качестве материала для изоляции фаз применяется светостабилизированный сшитый полиэтилен.

Шинопроводы представляют собой электротехнические устройства, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии на напряжении до 1 кВ внутри помещений промышленных предприятий.

Шинопроводом называется устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из шин и относящихся к ним изоляторов, поддерживающих и опорных конструкций, защитных оболочек и ответвительных устройств. Они применяются в помещениях с разнообразной окружающей средой, кроме взрывоопасной, химически активной и особо сырой. Шинопроводы целесообразно использовать при нестабильном расположении оборудования, так как они позволяют относительно быстро перестраивать электрическую сеть (рисунок 3.2).

По назначению закрытые комплектные шинопроводы делятся на: магистральные (ШМА на переменном и ШМАД на постоянном токе); распределительные (ШРА с алюминиевыми и ШРМ с медными шинами); троллейные (ШТА, ШТМ); осветительные (ШОС).

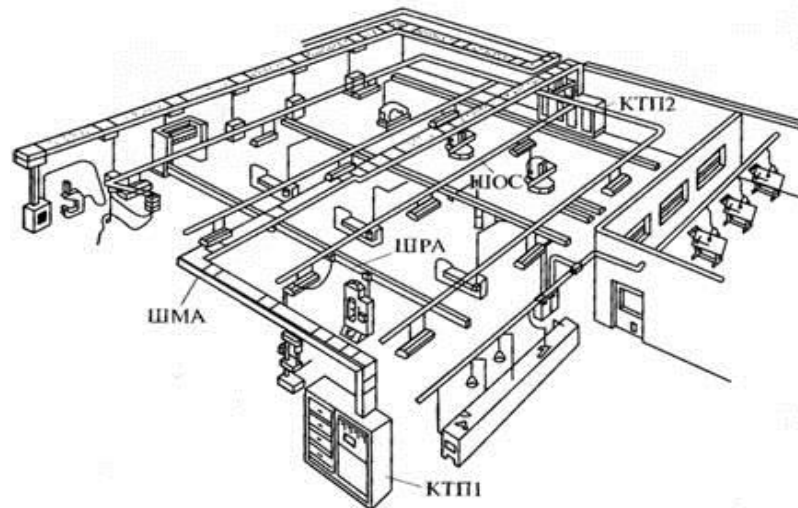


Рисунок 3.2 – Шинопроводы в цехе: КТП1, КТП2 – комплектные трансформаторные подстанции; ШМА – магистральный шинопровод;

ШРА – распределительный шинопровод; ЩОС – осветительный шинопровод

1) *Магистральные шинопроводы (МШ)* служит для передачи электроэнергии от силовых трансформаторов к потребителям. Это комплектные устройства, имеющие разные номинальные токи, состоит из секций определенного назначения (прямых, угловых, вертикальных, присоединительных и т.д.).

МШ переменного тока серии ШМА и постоянного тока серии ШМАД служит для передачи электроэнергии от силового трансформатора к потребителям.

МШ имеет изолированные алюминиевые (реже медные) шины, заключенные в металлический кожух, предохраняющий от случайных прикосновений к шинам и защищающий от их повреждений. Изготавливаются в виде отдельных типовых секций, соединяемых на месте монтажа при помощи сварки или болтового сжима. Магистральный шинопровод ШМА состоит из прямых секций, для разветвления шинопроводов предусмотрены ответвительные секции, для присоединения кабельных ответвлений – присоединительные секции. Существуют также угловые, подгоночные и гибкие секции. Ответвительные секции устанавливаются в местах соединения секций. Ответвительные секции шинопроводов ШМА4 и ШМА5 могут быть без коммутационных аппаратов (с глухим присоединением), с разъединителем с номинальным током 630 А и с автоматическими выключателями с номинальным током 400 А (типов ВА 51-37, ВА 52-37, ВА 55-41) и 630 А (типов ВА 51-39, ВА 52-39, ВА 55-41). Номинальное напряжение применяемых коммутационных аппаратов должно соответствовать номинальному напряжению шинопровода.

При длине ответвления до 3 м оно может быть глухим, т. е. провода или жилы кабеля присоединяются непосредственно к шинам ответвительной

секции без защитного аппарата. При прокладке шинопровода в труднодоступных местах (например, на большой высоте) длина глухого ответвления может достигать 30 м. Площадь сечения ответвления должно быть не менее сечения, определяемого расчетным током и не менее 10 % пропускной способности магистрали (защищенного участка шинопровода), при этом проводники могут прокладываться в стальных трубах, коробах или иметь негорючую оболочку.

При необходимости выполнить ответвления от МШ большой длины без защитного аппарата, например, при присоединении распределительных шинопроводов, в удобном для обслуживания месте устанавливается защитный аппарат, в качестве которого, как правило, применяются ящики с рубильниками, автоматическими выключателями типа ВА или с рубильниками и предохранителями.

На промышленных предприятиях применяются магистральные комплектные шинопроводы типов ШМА4, ШМА5 и др.

МШ переменного тока типа ШМА5 (для пятипроводных сетей) на номинальные токи 1250, 1600, 2500 и 3200 А предназначен для работы внутри производственных помещений в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью с нулевыми рабочим (*N*) и защитным (*PE*) проводниками. Шинопровод ШМА4 отличается от ШМА5 только тем, что он предназначен для четырехпроводных сетей с одним нулевым проводником *PEN*. Шинопроводы служат для передачи и распределения электроэнергии как при горизонтальной, так и при вертикальной прокладке. Высота вертикальной прокладки шинопровода не ограничивается. Шинопроводы допускается применять в пожароопасных зонах П-I (при этом допустимый ток составляет 65 % номинального значения) и П-IIа. Они не предназначены для эксплуатации в химически активных средах и взрывоопасных зонах.

Шинопровод ШМА5 представляет собой компактный пакет шин, выполненных из алюминия марки АД0, изолированных стеклолакотканью и плотно стянутых швеллерообразными боковинами из алюминиевых листов. Сверху и снизу пакет шин закрыт стальными завальцованными крышками.

Минимальное расстояние между проводниками создает оптимальное распределение плотности тока по сечению шины, снижая ее активное и индуктивное сопротивления к минимуму по сравнению с другими схемами расположения шин. Боковины используются и как несущая конструкция, и как защитный (*PE*) проводник. Степень защиты магистральных шинопроводов ШМА4 и ШМА5 - *IP44*.

МШ присоединяется к цеховому трансформатору через небольшое распределительное устройство по схеме блок трансформатор - магистраль. Главные магистрали прокладывают на высоте не менее 3 м над полом. Прокладка шинопроводов на высоте более 7 м не рекомендуется из-за увеличения длины ответвлений и сложности обслуживания в процессе эксплуатации. Они могут крепиться с помощью стальных стоек (высотой 3505 мм), кронштейнов и подвесов. Максимально допустимое расстояние между точками крепления шинопроводов типа ШМА4 и ШМА5 составляет 6 м.

Трассы шинопроводов целесообразно располагать по стенам и колоннам здания, вдоль нижнего пояса строительных и подстропильных ферм подкрановых балок. В крановых пролетах МШ должен располагаться в мертвой зоне кранов. При наличии кранов рекомендуется располагать главные магистрали на уровне нижнего пояса ферм.

К главным магистралям следует присоединять относительно небольшое число ответвлений, предназначенных для питания лишь крупных потребителей электроэнергии. МШ должен иметь не менее трех присоединений с током нагрузки 250 А и более. Подключение проводников к магистральному шинопроводу выполняется с помощью ответвительных секций.

Магистральные шинопроводы дают возможность эффективно заменить кабельную сеть, так как при больших передаваемых мощностях кабельная канализация становится довольно громоздкой, занимающей в помещении много пространства. Шинопровод примерно на 40 % легче кабельной установки одной и той же пропускной способности (с учетом кабелей и их крепежных конструкций). Они создают меньший уровень электромагнитного излучения (примерно на порядок ниже кабельных линий), имеют высокие уровни электро- и пожаробезопасности, при пожаре служат преградой для огня и не теряют работоспособности в течение определенного периода (огнестойкость составляет примерно 2 ч), обладают большим сроком службы (более 30 лет) и высокой надежностью.

2) *Распределительные шинопроводы (РШ)* применяются в трехфазных электроустановках переменного тока частотой 50 и 60 Гц при напряжении до 690 В для питания силовых электроприемников относительно небольшой мощности рассчитаны на номинальный ток 250, 400 и 630 при нестабильном расположении электропотребляющего оборудования. Это позволяет при необходимости быстро перестраивать распределительную сеть без больших материальных и трудовых затрат. Шинопровод ШРА4 на 100А оснащается ответвительными коробками с защитными аппаратами на 25А, что ограничивает его применение.

РШ изготавливаются на заводах и поставляют в виде комплекта из прямых участков — секций (длина прямой секции 3 м), снабженных переходными элементами для последовательного соединения ряда секций, устройства ответвлений (ответвительные коробки), а также вводных коробок, присоединяющих шинопроводы к питающей сети.

Распределительный шинопровод представляет собой короб из листовой стали, в котором закреплены на изоляторах неизолированные алюминиевые (медные) шины. Электроприемники подключаются через ответвительные коробки, присоединяемые к шинопроводам через штепсельные разъемы, в которых устанавливается необходимая защитно-коммутационная аппаратура (таблица 3.1). Каждая прямая трехметровая секция имеет восемь штепсельных разъемов для присоединения ответвительных коробок. Шины секций шинопровода соединяют болтами.

Таблица 3.1. Ответвительные коробки шинопроводов ШРА4 и ШРА5

Тип коробки	Наименование аппарата	Номинальный ток аппарата, А	Номинальный ток шинопровода, А
У2031,У5031	Предохранитель ПН2-100	100	250,400,630
У2032,У5032	Разъединитель	160	250,400,630
У2033,У5033	То же	250	400,630
У5039	Автомат ВА51-33	160	250,400,630
У5051	Автомат ВА51-35	250	400,630
У2038,У5038	Автомат АЕ2046	40	250,400,630
У2038,У5038	Автомат АЕ2056	100	250,400,630
У2180	Разъединитель	400	400,630

От РШ к электроприемникам проводники прокладываются в трубах, металлорукавах, коробах, на лотках, перфополосах. В шинопроводе обеспечивается повышенная электробезопасность благодаря тому, что доступ к аппаратам в ответвительной коробке, возможен только после снятия коробки с шинопровода, т.е. после размыкания штепсельного разъема (рисунки 3.3, 3.4).

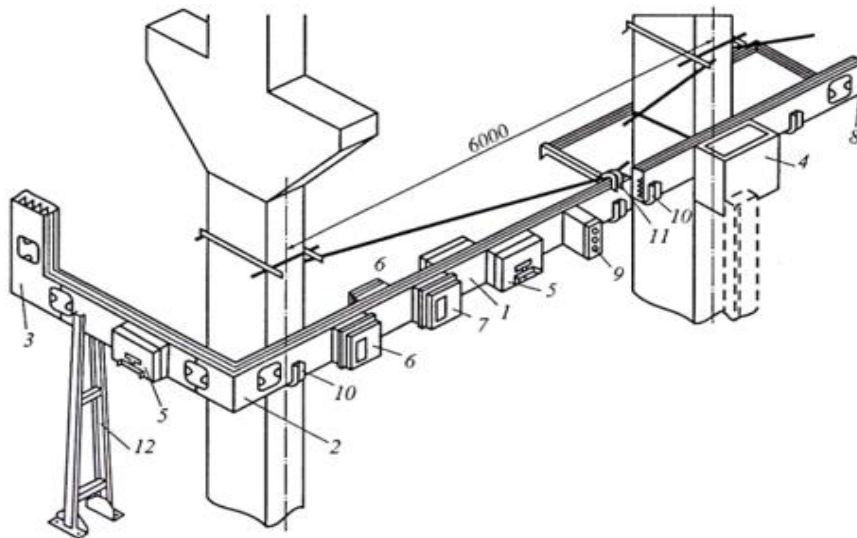


Рисунок 3.3 – Распределительный шинопровод:
 1 – прямая секция; 2 – секция с изгибом шин на ребро; 3 – тоже на плоскости;
 4 – вводная коробка с автоматом; 5 – ответвительная коробка с автоматом;
 6 – тоже с предохранителем; 7 – то же с пусковым аппаратом; 8 – заглушка торцевая; 9 – коробка с указателем наличия напряжения; 10 – 12 конструкция для установки и крепления токопровода

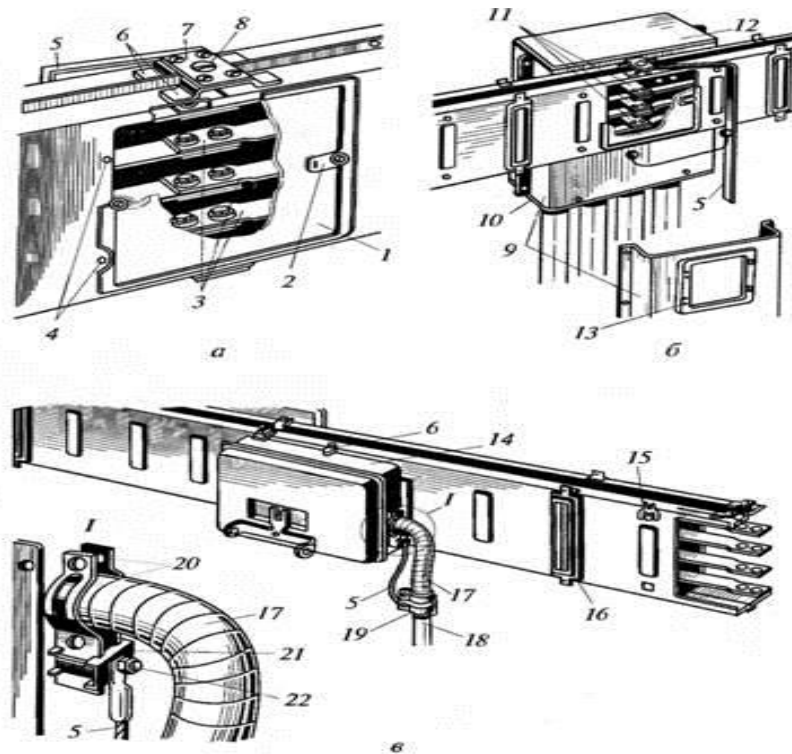


Рисунок 3.4 - Элементы распределительного шинопровода:

а - соединение секций ШРА; б, в - вводная и ответвительная коробки; 1 - съемная крышка монтажного окна; 2 - прижим; 3 - концы стыкуемых секций; 4 - отверстия для крепления корпуса вводной коробки; 5 - проводник сети заземления; 6 - лапки; 7- соединительная планка; 8 - отверстие для приварки планки к лапкам; 9 - задняя стенка вводной коробки; 10 - съемное дно; 11- присоединительные элементы вводной коробки; 12 - вводная коробка; 13 - отверстие для ввода кабеля сверху; 14 - ответвительная коробка; 15 - вилка; 16 - заглушка; 17 - металлорукав; 18- труба; 19 – муфта; 20 - скоба; 21 - швеллерообразный элемент; 22 - болт заземления

Подвод питания к шинопроводу осуществляется через специальные вводные секции, которые могут устанавливаться как вдоль линии шинопровода, так и на его торцах. Ввод проводов или кабелей во вводную секцию возможен как снизу, так и сверху. Коммутационных аппаратов вводная секция не имеет.

РШ устанавливаются в непосредственной близости от технологического оборудования на высоте не менее 2,5 м на стойках, кронштейнах и подвесах. В цехах с нормальной средой используются шинопроводы ШРА4 и ШРА5, имеющие степень защиты *IP32*, в помещениях с пыльной средой (в том числе в пожароопасных зонах класса П-П и П-Па) — типа ШРП со степенью защиты *IP54*.

В шинопроводе типа ШРА5 три фазных ($L1$, $L2$ и $L3$) и нулевой рабочий (N) проводники помещены в защитный металлический кожух, который играет роль нулевого защитного проводника PE . Аналогично устроен распределительный шинопровод ШРА4, у которых нулевой проводник N

соединен с металлическим кожухом и образует совмещенный нулевой проводник *PEN*.

3) *Троллейные шинопроводы* (ТШ) используются для питания передвижных электроприемников (кранов, кран-балок, тельферов и т.п.).

В настоящее время эксплуатируется шинопровод монотроллейный ШМТ-А на токи 250-400А, который предназначен для выполнения в производственных помещениях или на открытом воздухе (под навесом) троллейных линий, питающих электрооборудование передвижных подъемно-транспортных механизмов: мостовых кранов, кранов подвесных однобалочных, электрических талей, передаточных тележек и т.д.

Конструкция шинопровода позволяет выполнять троллейные линии с любым числом полюсов. Троллейная линия – это участок сети, предназначенный для передачи электроэнергии электроприемникам при помощи скользящих или катящихся токосъемников.

Монотроллейный шинопровод представляет собой профили фигурного сечения из алюминия заключенные в изоляционную оболочку и закреплённые через клицы на кронштейнах. Продольный паз оболочки обеспечивает доступ контактной щетки токосъемника к контактной поверхности троллея (токоведущего троллея). Передача электроэнергии осуществляется через токосъёмники от 40 до 160 А, степень защиты шинопровода ШМТ-А - *IP21* по ГОСТ 14254, степень защиты токосъёмников не нормируется. Климатическое исполнение шинопроводов – У2, Т3 по ГОСТ 15150.

Ранее промышленностью выпускались и находятся в эксплуатации в настоящее время ТШ типа ШТМ70 на 200А, 660В; ШТМ72 на 400А, 660В с медными шинами и ШТА75 на 200А, 660В с алюминиевыми шинами (рисунок 3.5). В настоящее время разработаны и широко используются троллейные шинопроводы «ТехноТрон», Multiconductor компании Belden.

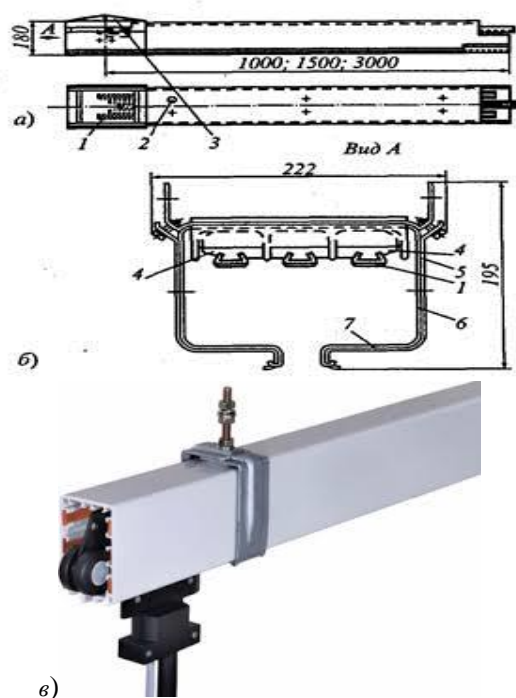


Рисунок 3.5 – Троллейный шинопровод:

- а – общий вид; б – поперечный разрез; в – общий вид с токосъемником;
 1 – троллей; 2 – крепление изолятора; 3 – серьга подвески; 4 – изолятор;
 5 – короб; 6 – корпус соединительной муфты; 7 – уступ короба

Так же широко применяются троллейные шинопроводы TR85 итальянской компании Giovenzana Int. B.V.

4) *Осветительные шинопроводы* применяются для питания световых приборов в обоснованных случаях, вместо осветительных щитков. Например, осветительные шинопроводы ШОС67УЗ, Canalis серии КВА и КВВ компании Schneider Electric, предназначены для выполнения в помещениях групповых осветительных сетей, а также для питания электрического ручного инструмента и других небольшой мощности электроприемников. Представляют собой закрытый металлический короб, внутри которого расположены четыре изолированных медных проводника. Соединение секций между собой осуществляется штепсельным устройством. Ответвления присоединяются с помощью специального штепсельного с разъема. Они выпускаются на напряжение 400/230 В, номинальный ток – 25, 63 и 100А. Принципиальное отличие осветительных шинопроводов от распределительных состоит в отсутствии ответвительных коробок с защитно-коммутационными аппаратами. Светильники подвешивают к несущим конструкциям или подключают непосредственно к осветительным шинопроводам через штепсельные окна, в которые вставляют штепсельные вилки с фазным, нулевым рабочим и нулевым защитным проводами (рисунок 3.6).

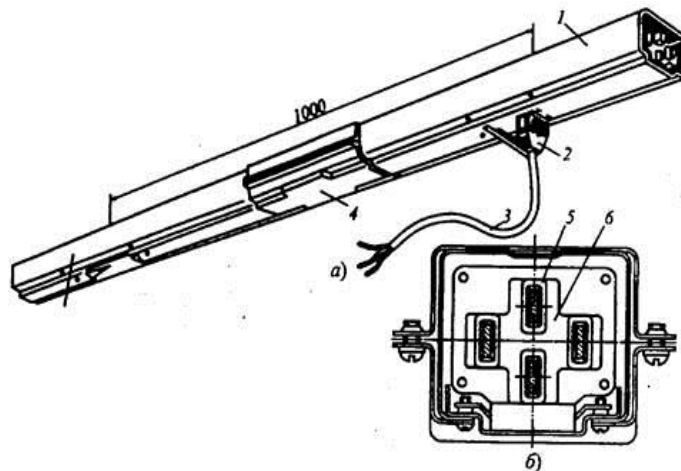


Рисунок 3.6 – Элементы осветительного шинопровода ШОС:

- 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

Современные шинопроводы осветительные серии ШОС (производитель Россия, Самара) - ШОС2, ШОС3, ШОС4, ШОС5 - 25-40А. Шинопроводы имеют нулевой рабочий проводник *N* (изолированный от корпуса) и защитный

проводник *PE*, в качестве которого используется алюминиевые корпуса секций, компактную конструкцию и малый вес, благодаря оптимальным расположением проводников внутри алюминиевого кожуха, сохраняя при этом хорошую огнестойкость и безопасность, а также обеспечивают низкое электромагнитное поле, не создающее помех в работе информационных систем.

Шинопровод серии ШОС-АМ включает в себя вводные секции подачи питания; 3, 1,5 и 0,5 -метровые прямые секции, гибкие соединения для обхода препятствий и поворотов, и отводные штепселя может использоваться в интерьерах с высокими техническими и эстетическими требованиями.

Заводское изготовление частей (секций) шинопроводов способствует применению индустриального монтажа сетей из стандартных секций, количество и конфигурация которых определяются проектом.

Комплектные шинопроводы предназначены для установки только внутри помещений. При необходимости выхода шинопровода за пределы помещения, а также в условиях стесненности трассы, сложных поворотах и переходах через строительные конструкции вместо секций шинопровода целесообразно применять кабельные вставки на соответствующие допустимые токи.

Кабельные линии предназначены для передачи электроэнергии или ее отдельных импульсов и состоит из одной или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами и крепежными деталями.

Кабель является наиболее совершенным с точки зрения защищенности от внешней среды и электробезопасности заводским изделиям, позволяющим максимальной степени обеспечить индустриализацию монтажа сетей.

Кабель представляет собой одну или более изолированных алюминиевых или медных жил, заключенных в герметичную оболочку (пластмассовую, резиновую или металлическую), поверх которой могут быть броня и защитные покровы. В электроустановках напряжением до 1 кВ используются силовые кабели с числом токопроводящих жил от одной до пяти. Четырех и пятижильные кабели выпускаются с жилами одинакового сечения или одна из жил может иметь уменьшенное сечение и использоваться в качестве нулевого проводника. Сечения жилы кабеля имеют круглую, секторную или сегментную форму.

Лучшими оболочками в отношении герметичности и влагонепроницаемое являются металлические (алюминиевые, свинцовые, стальные), применяемые для влагоемкой (бумажной) изоляции. Однако использование в сетях напряжением до 1 кВ кабелей с металлическими оболочками (например, марок АСБ, СБ, ААБ, ААШвУ, АПвББШв и т.п.) приводит к удорожанию СЭС и усложнению ее эксплуатации.

Кабели с невлагоемкой изоляцией (пластмассовой или резиновой) не нуждаются в металлической оболочке. В связи с этим такие кабели изготавливаются в пластмассовой или резиновой оболочке (например, АВВГ,

АНРГ, АПВГ и т.п.), что снижает их стоимость, упрощает монтаж и эксплуатацию электрических сетей.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ в большинстве случаев применяются кабели с полимерной (из поливинилхлоридного пластиката, полиэтилена, сшитого полиэтилена и т.д.) или резиновой изоляцией.

При прокладке в земле рекомендуется использовать кабели, имеющие ленточную или проволочную броню, защищающие оболочку и токопроводящие жилы от механических повреждений. Бронированные кабели можно прокладывать во взрывоопасных зонах.

Марка кабеля состоит из последовательно расположенных букв, обозначающих материал жилы, изоляции, а также тип защитного покрова поверх металлической, резиновой и пластмассовой оболочки.

Обычная бумажная изоляция жил, пропитанная маслоканифольным составом, в марке кабеля не обозначается. Наиболее распространенными марками кабелей, применяющиеся в электрических сетях напряжением до 1 кВ являются:

АВВГ – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, в оболочке из ПВХ пластиката, без защитного покрова поверх оболочки (голый); ВВГ – то же, но с медными жилами;

АВББШв – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из ПВХ пластиката, имеется броня из двух оцинкованных стальных лент без подушки, наложенных так, что верхняя лента перекрывает зазоры между витками нижней ленты, и защитный шланг, выпрессованный из ПВХ пластиката;

АПвББШв – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена, имеется броня из двух оцинкованных стальных лент без подушки и защитный шланг, выпрессованный из ПВХ пластиката.

КГ – кабель гибкий с медными жилами с резиновой изоляцией.

Внутри зданий кабели могут прокладываться:

- открыто (по конструкциям зданий, технологическим эстакадам);
- скрыто (внутри конструкций, в траншеях);
- в кабельных сооружениях (в каналах, туннелях, блоках, на галереях и эстакадах).

По территории предприятия рекомендуется прокладывать кабели открыто на эстакадах, по наружным стенам зданий и сооружений, если указанные способы не возможны, то кабельные линии в земле.

Помимо силовых кабелей в цехах промышленных предприятий широко используются контрольные, телефонные и другие специальные кабели.

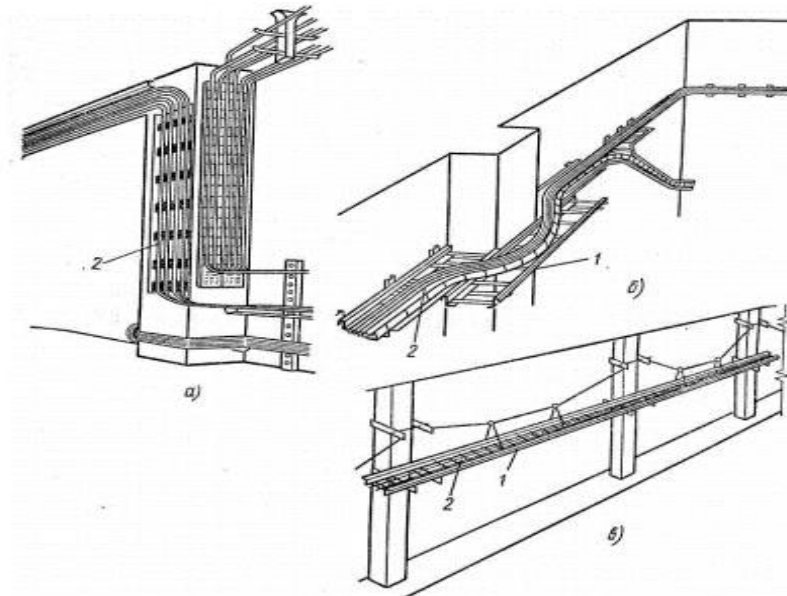
При малых токах (при питании мелких потребителей) во многих случаях эффективнее использовать вместо кабелей электропроводки.

Электропроводка – это совокупность изолированных проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями и деталями. В электропроводках применяются изолированные провода всех сечений, а также небронированные силовые кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией, в любой оболочке с площадью сечения фазных жил до 16 мм².

Электропроводки подразделяются на открытые и скрытые. Открытая электропроводка прокладывается по поверхности стен и потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений, на опорах и т.п. При скрытой прокладке проводники и элементы электропроводки находятся внутри конструктивных элементов зданий и сооружений.

Электропроводки выполняются изолированными проводами (АПР, АПВ, АПРВ, АПРТО, АРТ) широко применяются внутри зданий и сооружений как для выполнения силовых и осветительных сетей, так и для цепей вторичной коммутации, защиты и управления. Изолированный провод – это одна или более одной изолированных жил поверх которых могут быть оболочка и защитные покровы. Изолированные провода, используемые в электропроводках, называются установочными.

На рисунке 3.7 показаны варианты открытой электропроводки на лотках, на рисунке 3.8 – в коробах.



■ Рисунок 3.7 – Выполнение открытой электропроводки на лотках; а – по колоннам, б – вдоль стен, в – подвеска на тросах, 1 – лоток, 2 – электропроводка

Лотком называется открытая конструкция, предназначенная для прокладки на ней защищенных изолированных проводов и кабелей.

Коробом называется полая конструкция прямоугольного или другого сечения, предназначенная для прокладки в ней изолированных проводов и кабелей.

Электропроводки в коробах в отличие от электропроводок в лотках защищают провода и кабели от загрязнений. Короба изготовляют в виде П-образных профилей с перегородками секциями длиной 3м. В коробах есть планки для крепления уложенных в них проводов и кабелей. Число проводов, прокладываемых в одном коробе, не должно быть более 12.

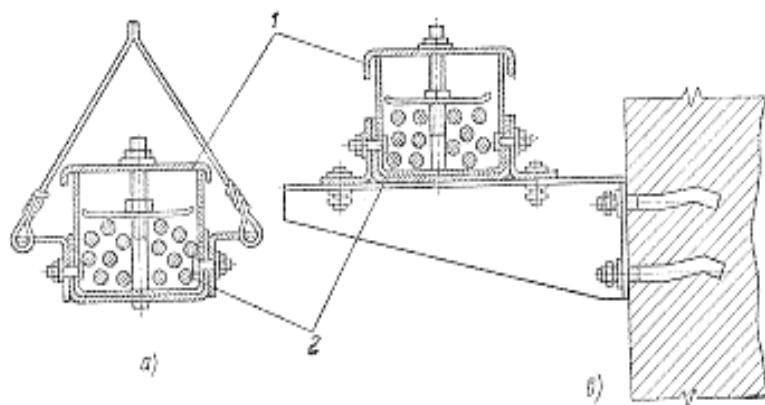


Рисунок 3.8 – Выполнение открытой электропроводки в коробах:
а – на тросах, *б* – на кронштейнах, 1 – короб, 2 – электропроводка

Решающее влияние на выбор способа выполнения электропроводки оказывают условия окружающей среды и степень возгораемости строительных материалов и конструкций. Незащищенные изолированные провода могут прокладываться только тремя способами: на изоляторах, в трубах и коробах. Реже в цехах промышленных предприятий применяется прокладка на роликах и изоляторах.

Скрытая электропроводка применяется в конструктивных элементах зданий, в стенах, полах и перекрытиях, в фундаментах оборудования и т.п. и может быть выполнена в трубах, в каналах, образованных в толщине бетона, и закладывается в строительные элементы зданий и трубы. Если предусмотрена электропроводка в трубах, то во всех случаях, где это допустимо, следует вместо металлических труб применять пластмассовые трубы. Металлические трубы следует использовать во взрывоопасных помещениях и в помещениях с коррозионной – активной средой.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ широко используются **распределительные пункты**, которые представляют собой электротехнические устройства, состоящие из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики. В сетях напряжением до 1кВ применяются: распределительные щиты, панели, силовые пункты, ящики, осветительные щитки и др.

Если требуется большее число присоединений и большая распределяемая мощность, то используются более громоздкие и более дорогие распределительные щиты, которые комплектуются из отдельных панелей (вводных, секционных, торцевых и др.). Устанавливают их на трансформаторных подстанциях, в машинных залах и на электростанциях. Щиты изготавливают в открытом и закрытом исполнении, которые состоят из панелей, устанавливаемых в специальных электротехнических помещениях. Щиты закрытого исполнения располагаются в цехах промышленных предприятий.

В силовых электрических сетях распределительные пункты с небольшим количеством присоединений часто называют силовыми пунктами (шкафами). Эти пункты являются границей между силовыми питающими и силовыми распределительными сетями и выполняют две функции: распределения электроэнергии и защиты линий силовых распределительных сетей. В зависимости от используемых защитных аппаратов различают два вида силовых пунктов.

Силовые пункты с плавкими предохранителями, например, типа ШР-11 (рисунок 3.9). Шкафы представляют собой металлический корпус с дверью, внутри которого установлена съемная сборка, представляющая собой раму с вводным рубильником, и предохранителями отходящих линий. Эти силовые пункты отличаются небольшой стоимостью и, естественно, некоторыми неудобствами в эксплуатации, возникающими при замене сгоревших предохранителей. Имеют 5-8 трехполюсных групп предохранителей серии ПН-2 или ППН на номинальные токи 100, 160, 250 и 400 А и вводной рубильник, с помощью которого отключается напряжение при работе какого-либо электроприемника или при замене предохранителей требуется отключение всего силового пункта вводным рубильником.

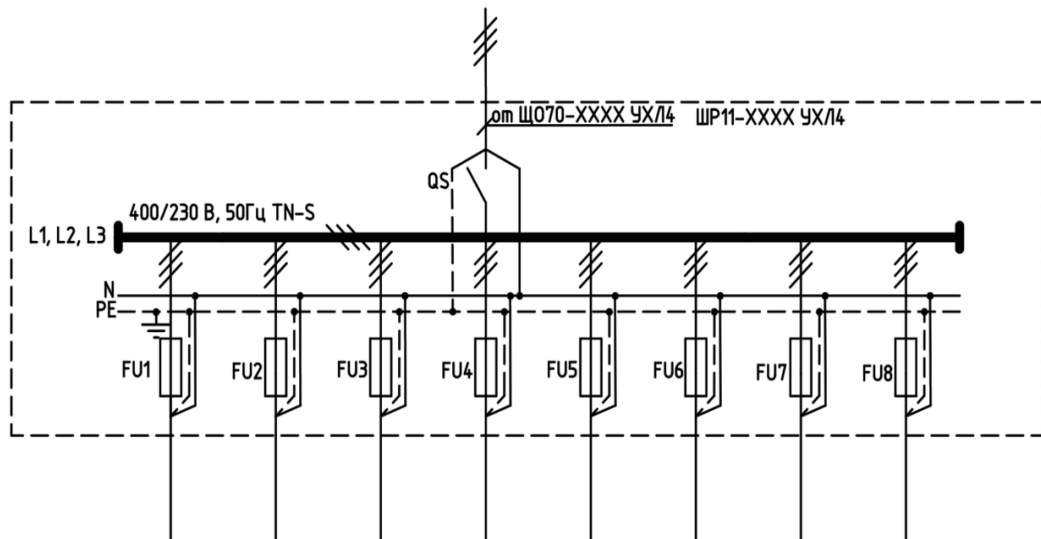


Рисунок 3.9 – Электрическая схема силового шкафа типа ШР

Второй тип - силовые пункты с автоматами, например, серий ПР8500, ПР8700, ПР11 (рисунок 3.10) с автоматами типа ВА, АЕ. Эти силовые пункты, естественно, дороже, но отличаются большими удобствами в эксплуатации, имеют от четырех до двенадцати трехполюсных автоматов для отходящих линий и, если необходимо, вводной автомат. Для восстановления питания по какой-либо отходящей линии после устранения неисправности в ней достаточно включить соответствующий автомат. При этом не нужно, как в первом случае, отключать весь силовой пункт.

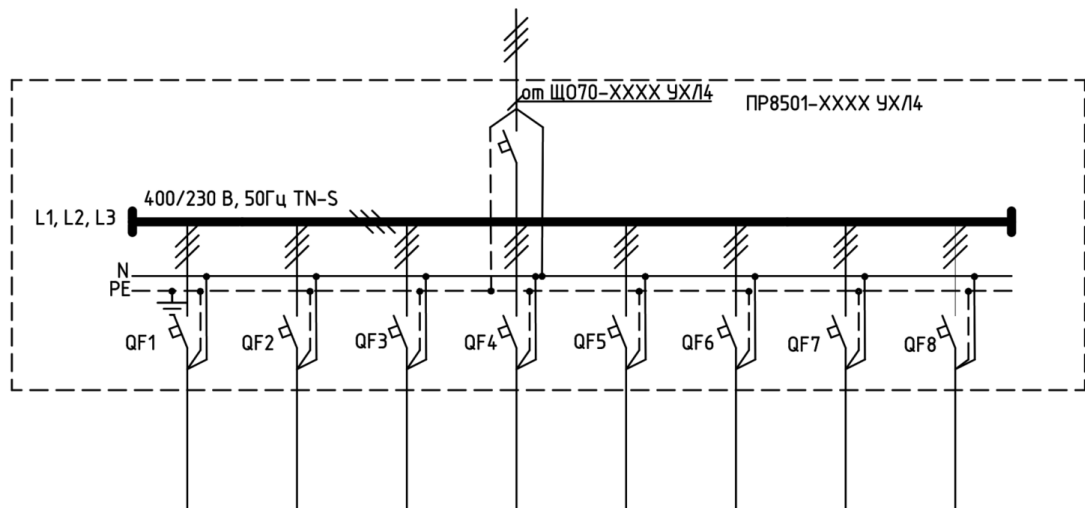


Рисунок 3.10 – Электрическая схема силового пункта типа ПР

В осветительных сетях производственных и административных зданий в качестве пунктов разветвления используются щитки осветительные, типа ОЩВ, ЩОА, оснащаемые трехполюсными и однополюсными автоматами. Они предназначены для распределения электрической энергии трехфазного переменного напряжением 400/230В, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания в групповых сетях и для нечастых включений и отключений электрических цепей.

Силовые пункты, содержащие лишь один аппарат и служащие для коммутации и защиты одной трехфазной линии напряжением 400/230 В, называются силовыми ящиками, например, ЯС, ШС, ЯУ, ЯРП, ЯВЗ. Они могут оснащаются рубильником, блоком рубильник-предохранитель, либо автоматом.

Выбор вида электрической сети напряжением до 1кВ зависит от размещения оборудования по площади цеха, требований по бесперебойности электроснабжения, условий окружающей среды, вероятности изменения технологического процесса, вызывающего замену оборудования, размещения цеховых ТП.

Распределительная сеть в цехах промышленных предприятий с нормальной средой может быть выполнена в виде модульной электропроводки. Такую проводку целесообразно применять в помещениях, где электроприемники располагаются по всей площади, а также где часто производится смена или перемещение технологического оборудования.

Модульная сеть представляет собой проложенные под полые магистрали с утопленными в пол распределительными коробками, предназначенными для подключения электроприемников и расположенными с определенным шагом (модулем) между ними.

Модульные коробки целесообразно располагать вдоль магистралей через 2 м для малогабаритного и через 3 м - для крупного технологического оборудования. Модульные магистрали, как правило, выполняются проводами с алюминиевыми жилами сечением от 16 до 35 мм², проложенными в

винипластовых или стальных тонкостенных трубах. Расстояние между магистралями рекомендуется принимать 3 м, а от стены (или оси колонн) до магистрали - 1,5 м.

Модульные сети более сложны в эксплуатации, так как требуют постоянного ухода и наблюдения. Поэтому применение модульных сетей в проектах должно обосновываться.

Каждый вид прокладки электрической сети имеет свою предпочтительную область применения.

3.2 Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить теоретические материалы по лабораторной работе.
2. Ознакомится с конструкциями шинопроводов, имеющимися в лаборатории.
3. Ознакомится с конструкциями кабелей и их расшифровкой, имеющимися в лаборатории.
4. Построить схему электроснабжения для потребителей электроэнергии, которые задаются преподавателем.

3.3 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание конструкции шинопроводов.
3. Описание конструкции кабеля и расшифровка его буквенно – цифрового значения. Кабель задается преподавателем.
4. Схема электроснабжения для потребителя электроэнергии.
5. Вывод.

3.4 Контрольные вопросы

1. Какие схемы электроснабжения напряжением до 1 кВ применяются на промышленных предприятиях?
2. Основные особенности радиальных схем электрических сетей в отличии от магистральных (привести рисунок).
3. Шинопроводы и область их применения.
4. Назначение кабельных линий и их конструкция.
5. Какие кабели используются для электрической сети напряжением до 1 кВ?
6. Назначение электропроводки и способы ее прокладки.
7. Что такое электропроводка? Виды электропроводок?

Лабораторная работа №4

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить основные виды распределительных устройств напряжением до 1 кВ по функциональному назначению, конструктивному исполнению и другим признакам.

4.1. Краткие теоретические сведения

В электрических сетях напряжением до 1 кВ широко используются комплектные распределительные устройства (РУ), которые представляют собой электротехнические устройства со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, измерительными и вспомогательными устройствами.

Основными видами комплектных распределительных устройств на напряжении до 1 кВ являются распределительные щиты, панели, силовые пункты, шкафы управления, ящики и осветительные щиты.

Шкаф – это устройство, закрытое со всех сторон, т.е. представляет собой металлический корпус с дверью, внутри которого на изоляторах установлена съемная сборка, представляющая собой раму с коммутационными и защитными аппаратами. Шкафы бывают напольными и навесными, одностороннего или двухстороннего обслуживания.

На рисунке 4.1 показан шкаф распределительный одностороннего обслуживания, конструкция которого предусматривает установку его на фундамент.

Щит – устройство, состоящее из одной или нескольких панелей и как правило напольной установки, переднего или заднего обслуживания. Щиты бывают как открытого, так и закрытого (шкафного) исполнения.

На рисунке 4.2 показан распределительный щит с тремя панелями.

Панель, устройство для комплектования распределительных щитов. Представляет собой металлическую конструкцию, внутри которой размещаются коммутационные аппараты, электроизмерительные приборы и сборные шины.

На рисунке 4.3 показана линейная панель распределительного щита.



Рисунок 4.1 - Общий вид распределительного шкафа (с предохранителями)



Рисунок 4.2 - Общий вид распределительного щита типа ЩО (П)



Рисунок 4.3 - Общий вид панель распределительного щита (с автоматами)

Низковольтные комплектные распределительные устройства (РУ) подразделяются:

- по конструктивному исполнению и размерам – щиты (собираемые из панелей или шкафов), шкафы, щитки, ящики;
- по способу установки коммутационных аппаратов – с выкатными аппаратами, со стационарной установкой аппаратов;
- по типам аппаратов на отходящих линиях – с предохранителями, автоматами, блоками предохранитель-выключатель и др.;
- по схемам электрических соединений – с вводными или без вводных аппаратов;
- для пяти-, четырёх-, трёх- или двухпроводных отходящих линий;
- с четырех-, трёх-, двух- и однополюсными аппаратами;
- по способу установки – напольные, навесные, утопленные (для установки в нишах);
- по степени защиты от воздействия окружающей среды – открытые, защищенные, защищенные с уплотнением и др.;
- по характеру, питаемых электроприемников - силовые, осветительные.

Кроме того, РУ могут классифицироваться в зависимости от выполняемых функций и места в схеме внутрицехового электроснабжения промышленных предприятий, в схеме электроснабжения жилых, общественных, административных зданий сооружений и т.д.

Рассмотрим краткую характеристику соответствующих основных серий комплектных РУ до 1 кВ классифицированным по выше указанным принципам. Порядок рассмотрения соответствует РУ на рисунке 4.4 (в конце лабораторной работы), отражающем место отдельных видов РУ в 3-х вариантах схем внутрицехового распределения электроэнергии:

- **в цехе №1** – питание от РУ низшего напряжения цеховой ТП;
- **в цехе №2** – от магистрального шинпровода **поз.10 на рисунке 4.4** по схеме «блок – трансформатор – магистраль»;
- **в цехе №3** – питание цеха осуществляется на напряжении до 1 кВ от подстанции соседнего цеха.

Поз.1 на рисунке 4.4 - РУ вторичного напряжения цеховой комплектной ТП 6-10/0,4-0,69 кВ (РУ НН КТП) выполняется, как правило, в виде распределительного щита (РЩ) и состоит из набора металлических шкафов, установленных в ряд и соединенных общими сборными шинами.

В качестве коммутационных и защитных аппаратов в РУ вторичного напряжения КТП используются автоматические выключатели выдвигного исполнения, которые расположены в закрытых шкафах. Управление автоматическими выключателями производится с помощью ручек или ключей, установленных на дверцах шкафов. Использование выдвигных автоматических выключателей, располагаемых в отдельных ячейках шкафа, обеспечивает удобное и безопасное обслуживание каждого выключателя без нарушения работы остальных присоединений и возможность быстрой его замены.

Панель, с помощью которой осуществляется ввод напряжения на сборные шины РУ, называется вводной (соответственно, шкаф – вводным). Панели (шкафы), к которым присоединяются отходящие линии, получили название линейных. Кроме того, в состав РУ НН КТП могут входить панели или шкафы секционные (для секционирования сборных шин при наличии двух вводов), с аппаратурой автоматического включения резерва (АВР) и др. Помимо коммутационно-защитных аппаратов РУ НН КТП комплектуется измерительными приборами (амперметрами, вольтметрами, а в случае необходимости – и счётчиками).

Комплектация РУ НН КТП берется, как правило, из технической документации завода изготовителя. В таблицах 4.1 и 4.2 показан пример структуры условного обозначения шкафа и схемы этих номеров (см. каталог МТЭЗ им. В.И. Козлова).

Таблица 4.1. Обозначение вводных и секционных низковольтных шкафов модульной конструкции

Х	Ш	Н	Х	Х	ХХ
---	---	---	---	---	----

Мощность подстанции, кВ·А	Наименование изделия	Тип напряжения	Тип устанавливаемого выключателя	Материал фазных и нулевых шин	Тип схемы
1–160-400; 2 – 630-1000; 3 – 1250-1600	Шкаф	Низкого напряжения	Masterpact ВА (в стадии проектирования)	М – медь, А – алюминий	11; 12; 13; 14; 15; 18; 19

Пример обозначения: Шкаф вводной низкого напряжения, мощность подстанции – 400 кВ·А, тип выключателя – Masterpact, номер схемы – 14, медными шинами: 1ШНММ-14.

Таблица 4.2. Номер схем вводных и секционных шкафов

11	12	13
Шкаф секционного выключателя при двухрядной компоновке КТП	Шкаф выключателя резервного ввода на секцию (кабельный ввод снизу или сверху на секцию от ДЭС и т.д.)	Шкаф секционного выключателя при однорядной компоновке КТП
14	15	
Шкаф выключателя рабочего ввода на секцию от тр-ра (левый)	Шкаф выключателя рабочего ввода на секцию от тр-ра (правый)	

На рисунке 4.5 показаны шкафы ввода и распределения двухстороннего обслуживания распределительного устройства низкого напряжения, которые являются составной частью комплектных трансформаторных подстанций промышленного исполнения.



Рисунок 4.5 – Распределительного устройства низкого напряжения КТП

Поз. 2 - Главный распределительный щит (ГРЩ) цеха (см. цех 3 на рисунке 4.4), который служит для приема и распределения электроэнергии в цеху (здании и т.п.), как правило, выполняется в виде РУ, собранного из типовых панелей ЩО-70 со стационарной установкой аппаратов, панелями модифицированного исполнения серии ПХХМ или шкафами вводно – распределительного устройства (ВРУ).

Панели распределительных щитов ЩО-70 предназначены для комплектования распределительных устройств (щитов) напряжением 400/230 В переменного тока частотой 50 Гц с глухозаземлённой или изолированной нейтралью и служат для приёма, распределения электрической энергии и защиты от перегрузок и токов короткого замыкания.

Структура условного обозначения:

ЩО 70 – X – XX УЗ

1 2 3 4 5

- 1) Панель распределительного щита одностороннего обслуживания;
- 2) модификация;
- 3) индекс разработки;
- 4) условный номер схемы;
- 5) вид климатического исполнения по ГОСТ 15150.

Например, линейная панель ЩО 70 – 3 – 01, которая комплектуется рубильниками с предохранителями (100x2 + 250x2).

По назначению панели ЩО 70 подразделяются на линейные, вводные, секционные, вводной секционные, панели АВР, торцевые.

Эти панели комплектуются рубильниками с предохранителями, автоматами с последовательно включенными с ними разъединителями, предохранителями-выключателями, трансформаторами тока, измерительными приборами. Ввод от питающей сети во вводной панели осуществляется шинами сверху или кабельными линиями снизу. В нижней части корпуса установлена нулевая и защитная шины для подсоединения нулевых и защитных проводников к потребителям. При установке панелей в

электропомещениях, как правило, принимается открытое исполнение (сверху и сзади), вне электропомещений – защищенное исполнение.

В настоящее время получили широкое применение **модульные распределительные устройства**, позволяющие создавать компактные распределительные щиты любой конфигурации стационарного, выдвижного и разъёмного исполнения на номинальные токи до 6300 А. В качестве защитных аппаратов в модульных распределительных системах на рейках могут устанавливаться автоматические выключатели и предохранители.

Панели распределительные серии ПХХМ (модифицированного исполнения) напряжением 0,4 кВ предназначены для приема и распределения электроэнергии в цепях трехфазного переменного тока напряжением 400/230 В, частотой 50 Гц. Панели составляют щиты, устанавливаемые в помещении. Обслуживание одностороннее.

Щиты, состоящие из панелей серии ПХХМ, могут применяться в качестве главного распределительного щита на объектах различных отраслей народного хозяйства, так же как низковольтное распределительное устройство в составе ТП или КТП на напряжении 6-10/0,4 кВ.

Панели серии ПХХМ представляют собой конструкцию из листогнутых профилей с установленными в них коммутационными защитными аппаратами и электроизмерительными приборами.

Панели подразделяются на вводные, линейные, секционные и торцевые.

Все автоматические выключатели, устанавливаемые в панелях, имеют переднее присоединение. **Выключатели серии ВА выдвижного исполнения в панелях не применяются.**

На рисунке 4.6 показана вводная панель, в которой устанавливаются коммутационные и защитные аппараты, трансформаторы тока, приборы измерения. Панели разделены на функциональные отсеки: аппаратный, сборный шин, релейный и кабельных присоединений. В панелях установлены выключатели выдвижного исполнения (Masterpact NW, NT, Compact NS) или стационарного (ВА) в связке с выключателем нагрузки (Interpact).

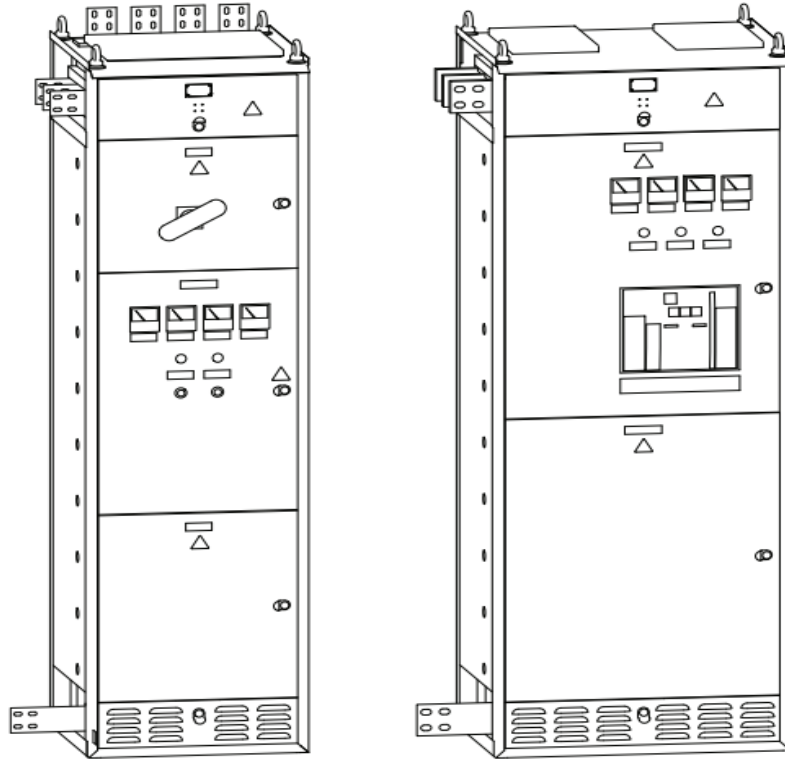
Аппаратура вторичных цепей располагается на стационарных или поворотных блоках в нижней части панелей.

Шинный ввод осуществляется сверху или сзади. Кабельный сверху, снизу и сзади.

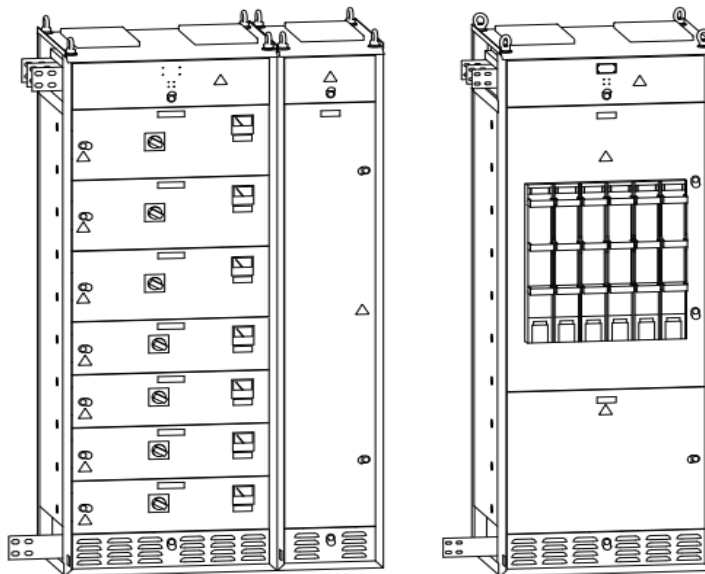
На рисунке 4.7 показана линейная панель, которая комплектуется выключателями втычного исполнения (CompactNSX) или стационарного (ВА) в связке с выключателем нагрузки (Interpact). Панели могут комплектоваться блоками рубильник – предохранитель реечного типа. Автоматический выключатель располагается в отдельном отсеке. Присоединения к сборным шинам отделены съемными перегородками. Все присоединения к отходящим линиям с автоматическими выключателями осуществляется в специально выделенном кабельном отсеке. В панелях с предохранителями разъединителями присоединены снизу.

Панели шинные применяются для организации шинных мостов, торцевые – для закрытия распределительного щита с торца.

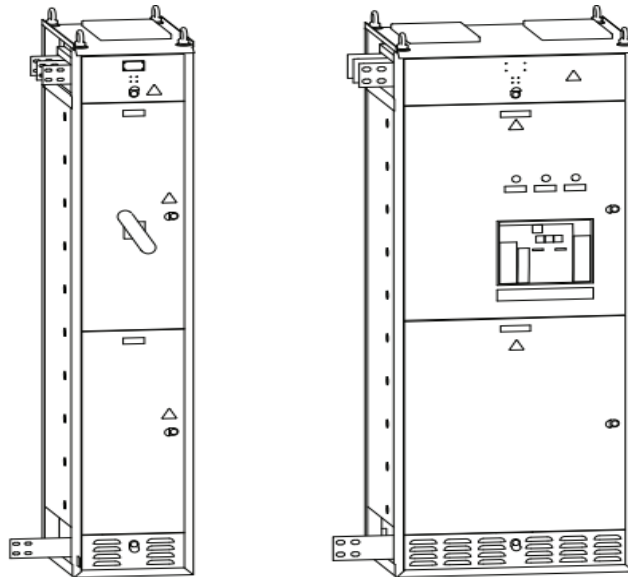
На рисунке 4.8 показана секционная панель, в которой в качестве аппарата может использоваться выключатели нагрузки (Interpact), автоматический выключатель выдвижного исполнения (Masterpact NW, NT, Compact NS) или стационарного (ВА) в связке с двумя выключателями нагрузки (Interpact). По заказу предусматривается установка в панели блока АВР.



Рисунке 4.6 – Общий вид вводная панель



Рисунке 4.7 – Общий вид линейная панель



Рисунке 4.8 – Общий вид секционная панель

Назначением **вводно-распределительного устройства (ВРУ)**, является прием, распределение и учет электроэнергии напряжением 400/230В трехфазного переменного тока частотой 50 Гц в сетях с глухозаземленной нейтралью, защита линий от перегрузок и коротких замыканий, а также для нечастых (до 6 включений в час) оперативных включений и отключений электрических сетей. Устройства ВРУ применяются для распределения электроэнергии на промышленных предприятиях и в общественных, административных, бытовых и других типах зданиях и сооружениях.

Классификация ВРУ по назначению:

- Вводные ВА – с автоматическим выключателем;
- Вводные ВР – с рубильником;
- Вводные ВП – с переключателем;
- Распределительные с автоматическим выключателем на отходящих линиях;
- Распределительные с автоматикой управления освещением лестнично – лифтового узла и коридоров;
- Распределительные с отделением учета;
- Распределительные со станциями управления «АВР».

Вводно-распределительное устройство ВРУ представляет из себя это ящик(и) бескаркасной конструкции или шкаф(ы) каркасной конструкции. На каркасах устанавливаются двери и панели, далее они могут соединяться в ряд. Панели представляют собой сварные металлоконструкции, выполненные из гнутых стальных профилей, внутри панелей размещается аппаратура для главных и вспомогательных электрических цепей. Монтажные распределительные панели служат для установки комплектов коммутационной аппаратуры, которая устанавливается строго в соответствии со схемой заказчика. Коммутационный аппарат выполняет функцию базы, на которой формируется функциональный блок. Состав функционального блока - плата монтажа (на которой и монтируется аппарат) и передней панели

(служит для блокирования доступа к элементам, находящимся под напряжением). По способу установки шкафы изготавливаются двух видов: напольные и навесные. Эти особенности, обеспечивают возможность ввода и вывода отходящих и питающих электрических линий снизу и сверху. **Вводно-распределительные устройства** изготавливаются на ток от 16 А до 630 А.

Конструкция ВРУ дает возможность иметь один или два основных ввода, а также дополнительный ввод от дизель-генератора.

Конструктивно: - **вводная панель ВРУ исключает** применение шкафов учета электроэнергии совместно с вводной панелью. Вводный отсек конструктивно отделен от отсека учета электроэнергии, который разделяется на две части:

- Отсек счетчика электроэнергии, дверь закрывающая отсек пломбируется.
- Отсек в котором смонтированы шесть трансформаторов тока (три из них предназначены для подключения счетчика электроэнергии, три - для подключения контрольно-измерительных приборов(амперметров, вольтметров), оборудованный прозрачной пломбируемой панелью.

Структура условного обозначения:

ВРУ – X (IPXX) (ВхШхГ)

1 2 3 4 5 6

- 1) Вводно – распределительное устройство;
- 2) количество дверей;
- 3) степень защиты *IP*;
- 4) высота корпуса;
- 5) ширина корпуса;
- 6) глубина корпуса.

Например, на рисунке 4.9 показано вводно-распределительное устройство ВРУ1 – 22 – 53 УХЛ4, в котором аппараты учета размещаются в отдельном отсеке и закрываются индивидуальной дверью.



Рисунке 4.9 – Общий вид вводно – распределительное устройство

Распределительные пункты с небольшим количеством присоединения, как правило, называют **поз. 3 силовым пунктом (СП)** и конструктивно который выполнен, как правило, в виде шкафов. Они служат для распределения электроэнергии между силовыми электроприемниками и защиты линий распределительных сетей от сверхтоков. Наиболее широко применяются распределительные **шкафы с трехфазными группами плавких предохранителей**, серии ПН2 и ППН, для защиты отходящих линий с рубильниками или рубильниками и предохранителями на вводе. Основная серия таких шкафов – ШР 11. Они рассчитаны на 5 – 8 присоединений, исполнение – напольное.

Структура условного обозначения:

ШР 11 – 73 X XX – XX X

1 2 3 4 5 6 7

- 1) Шкаф распределительный силовой;
- 2) условный номер разработки;
- 3) вид установки – напольное исполнение, ввод проводников в любой комбинации;
- 4) ширина шкафа (5 - 600мм, 7 – 500мм);
- 5) номер схемы шкафа;
- 6) степень защиты по ГОСТ 14255-96;
- 7) обозначение климатического исполнения и категории размещения по ГОСТ 15543-70.

Например, ШР11 – 73517 – 22УЗ с одним рубильником на вводе и 8 отходящих линий с предохранителями (6x100 + 2x250).

В таблице 4.3 показаны некоторые шкафы распределительные серии ШР11.

Таблица 4.3. Шкафы распределительные серии ШР11

Тип шкафа	Номинальный ток вводного рубильника, А	Тип и количество групп предохранителей на отходящих линиях	
		ППН – 33 100 А	ППН – 35 250 А
ШР11-73504	400	8 x НПН - 60	
ШР11-73505	400	8	-
ШР11-73506	400	-	8
ШР11-73511	400	6	2
ШР11-73513	400	8	-

При повышенных требованиях к надежности электроснабжения в качестве СП используются **пункты распределительные с автоматами** (основные серии пунктов – ПР8500, ПР8700 и т.д.), которые выпускаются в напольном исполнении в виде шкафа, а также в виде щитков (для освещения)–

навесное и утопленное исполнение. Указанные распределительные пункты выполняются с вводными трехполюсными автоматами и без вводного автомата. Автоматы отходящих линий – трехполюсные и (или) однополюсные.

В таблице 4.4 показано структура условного обозначения пункта распределительного ПР8500.

Структура условного обозначения:

ПР 85XX-XXXX-X-XX

1 2 3 4 5 6 7 8

- 1) ПР — шкаф (пункт) распределительный;
- 2) 8 — класс низковольтного комплектного устройства — ввода и распределения электроэнергии;
- 3) группа класса 5 — распределение электроэнергии с применением автоматических выключателей переменного тока;
- 4) порядковый номер в серии (01, 03);
- 5) исполнение по способу установки:
 - 1 — навесное;
 - 2 — напольное;
 - 3 — утопленное.
- 6) номер схемы №
- 7) степень защиты оболочки, ввода и изоляции кабеля;
- 8) климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Например, пункт распределительный ПР8501-003-21УЗ, с глухим присоединением на вводе и с 1- трехполюсным и 3-мя однополюсными автоматами, на отходящих линиях.

Шкафы серии ПР8501 используют для распределения электроэнергии напряжением до 690 В переменного тока 50 и 60 Гц, а шкафы серии ПР8701 – до 230 В постоянного тока и для обеспечения защиты при перегрузках и коротких замыканиях. По виду установки шкафы изготавливают из следующих исполнений: утопленные – для установки в нишах; навесные – для установки в стенах, колоннах и других подобных конструкциях; напольные – для установки на полу.

Шкафы ПР8501 и ПР8701 укомплектованы однополюсными линейными нетокоограничивающими выключателями ВА51-31-1 с расцепителями на токи 6,3-100 А и трехполюсными ВА 51-31 и ВА 51-35 – с расцепителями на токи 6,3 – 100 А и 100 – 250 А соответственно.

Шкафы изготавливаются без выключателей ввода (с вводными зажимами) и с выключателями ввода. Используются следующие выключатели ввода: ВА-51-33, ВА-51-35, ВА-51-37, ВА-51-39 – нетокоограничивающие с тепловыми и электромагнитными расцепителями тока; ВА-55-37 и ВА-55-39 – селективные с полупроводниковыми максимальными расцепителями тока; ВА-56-37, ВА-56-39 – без максимальных расцепителей тока.

Встраиваемые в шкафы выключатели на отходящих линиях устанавливаются в любом сочетании по номинальному току расцепителя. При

этом одновременная суммарная нагрузка выключателей не должна превышать номинальный рабочий ток шкафа.

Шкафы изготавливают со следующим расположением вводного выключателя или вводных зажимов (для шкафов без вводного выключателя): в верхней части шкафа при вводе питающих проводников сверху; в нижней части шкафа при вводе питающих проводников снизу.

Шкафы с вводными выключателями или без них снабжены зажимами, которые обеспечивают втычное присоединение (без пайки и кабельных наконечников) медных или алюминиевых проводников.

Внутри шкафа установлена неизолированная нулевая и защитная шины, имеющая электрическое соединение с корпусом шкафа. Они пропускает ток, равный номинальному. Силовые пункты типа ПР предназначены для приема и распределения электроэнергии в силовых и осветительных сетях переменного тока напряжением до 690 В.

Эти силовые пункты, типа ПР, естественно, дороже, но отличаются большими удобствами в эксплуатации, имеют от четырех до двенадцати трехполюсных автоматов для отходящих линий и, если необходимо, вводной автомат. Для восстановления питания по какой-либо отходящей линии после устранения неисправности в ней достаточно включить соответствующий автомат. При этом не нужно, как в первом случае, отключать весь силовой пункт.

Поз. 4 - Щиты (шкафы) управления (ЩУ, ШУ) комплектуются из блоков (панелей) управления с защитными и коммутационными аппаратами. ЩУ предназначены, главным образом, для дистанционного и автоматического управления электроприводами. В то же время щиты управления осуществляют распределение электроэнергией. В зависимости от места установки ЩУ выполняются открытыми или защищенными.

В настоящее время для управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором в продолжительном, кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы применяют блоки и панели серий Б5030, П5030, а также ящики управления серии Я5000.

Блоки и панели рассчитаны на управление электродвигателями с номинальным током статора 0,6-630А – для нереверсивных, 0,6 – 400 А – для реверсивных электродвигателей и 0,6 – 16 А – для электродвигателей без тепловой защиты.

Номинальное напряжение силовой цепи: 400(380), 415 В частотой 50 Гц и 380, 440 В – частотой 60 Гц.

Поз. 5 - Магистральные щитки осветительные (МЩО) осуществляют распределение электроэнергии между групповыми осветительными щитками (см. рисунок 4.4). В качестве МЩО используются распределительные шкафы ШР11 с предохранителями и распределительные пункты серий ПР11, ПР8500, ПР8700, ПР8800, и др. с однополюсными и трехполюсными линейными автоматами.

Поз. 6 - Групповые щитки осветительные (ЩО) комплектуются однополюсными и трехполюсными линейными автоматами, вводными

трехполюсными автоматами. Широко используются ЩО без вводного автомата.

Основные серии групповых щитков – ЩО8505, ЩРО8505, ОП, ОЩ, УОЩВ, ЯОУ8500 и др. Исполнение – навесное и утопленное.

Поз. 7, 8, 9 - Ящики силовые (Я) служат для коммутации и защиты одной трехфазной линии напряжением 0,4/0,23 кВ, содержащие лишь один коммутационный аппарат.

Ящики силовые устанавливаются на ответвлениях от **магистральных шинопроводов поз. 10** (см. рисунок 4.4) на вводах **распределительных шинопроводов поз. 11**, троллейных линий, отдельных электроприемников (например, сварочных аппаратов), а также используются в помещениях с небольшим числом электроприемников, где установка СП типа ШР или ПР нецелесообразна.

Ящики коммутационные выпускаются с рубильником и предохранителями или блоком предохранитель-выключатель (7), с автоматом (8), с рубильником (9).

Основные серии ящиков имеют следующую маркировку: ЯРП, ЯБПВУ, ЯБПВ, ЯВЗ.

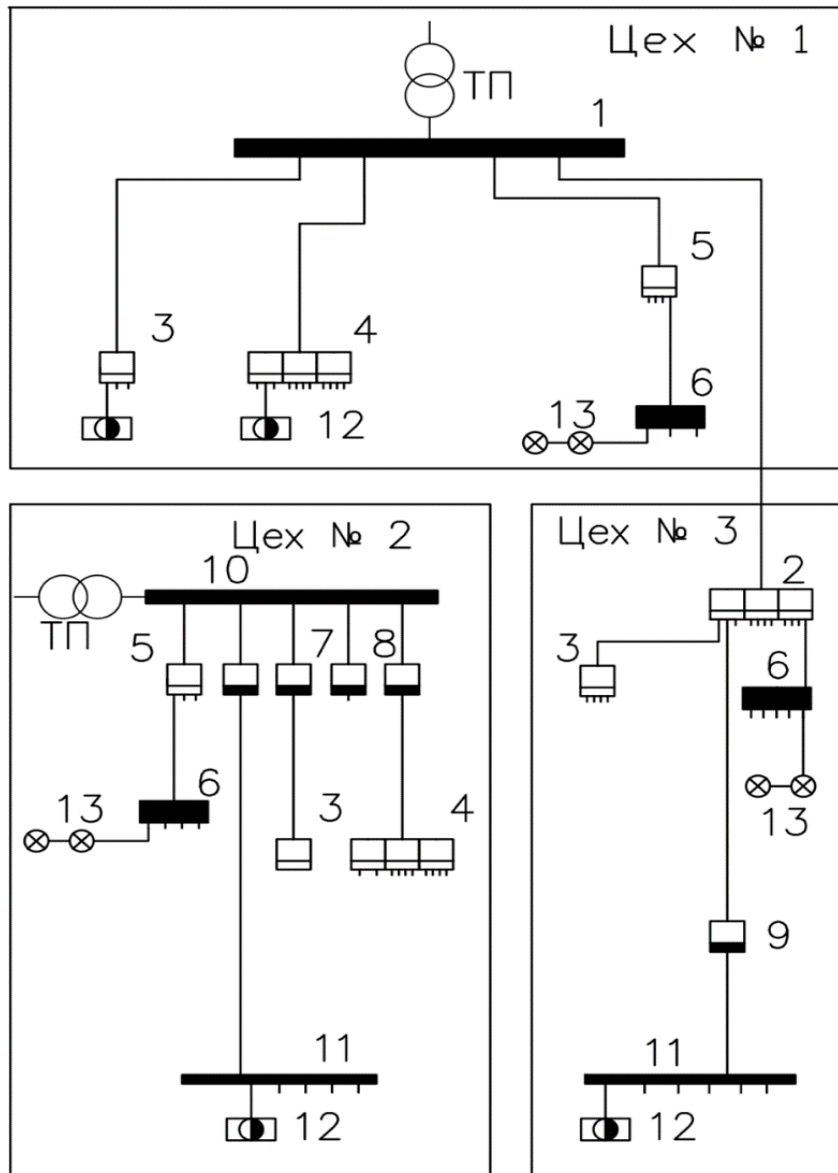


Рисунок 4.4 – Пример функциональной схемы внутрицехового распределения электроэнергии напряжением до 1 кВ

На рисунке 4.4 номерами **поз.12** и **поз.13** обозначены силовые электроприемники с двигателями и светильники.

4.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить конструктивные разновидности, особенности электрических схем используемых комплектных элементов РУ напряжением до 1 кВ.
2. Изучить установленные в лаборатории комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ и составить их принципиальные электрические схемы в однолинейном исполнении.
3. Составить электрическую схему РУ напряжением до 1 кВ из комплектных элементов по заданию преподавателя.

4.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теорические сведения.
2. Пример функциональной схемы внутрицехового распределения электроэнергии напряжением до 1 кВ (рисунок 4.4).
3. Принципиальные электрические схемы установленных в лаборатории комплектных РУ до 1 кВ.
4. Электрическая схема РУ напряжением до 1 кВ по заданию преподавателя.
5. Вывод.

4.4 Контрольные вопросы

1. Классификация РУ до 1 кВ по различным принципам.
2. Назначение и конструкция РУ до 1 кВ.
3. Вариант выполнения РУ НН КТП, области их применения.
4. Общая характеристика РУ серий ШР11, ПР11, ЩОЗ1, ПР850, ПР8701.
5. Общая характеристика ГРЩ, СП, ЩУ, МШО, ЩО.
6. Чем отличаются по функциональному назначению панели ЩО-70 и шкафы распределительные различных серий?

Лабораторная работа №5

ИЗУЧЕНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование графиков нагрузки потребителей электроэнергии, их характеристики, а также практические задачи электроснабжения, решаемые на основе графиков электрических нагрузок.

5.1 Краткие теоретические сведения

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения имеют дело с тремя видами электрической нагрузки: активной P (кВт), реактивной Q (квар) и токовой I (А). Особенность электрической нагрузки состоит в том, что в любой точке системы электроснабжения ее величина постоянно изменяется, т.е. носит случайный характер.

Кривая, характеризующая изменение нагрузки во времени называется графиком электрической нагрузки (рисунок 5.1).

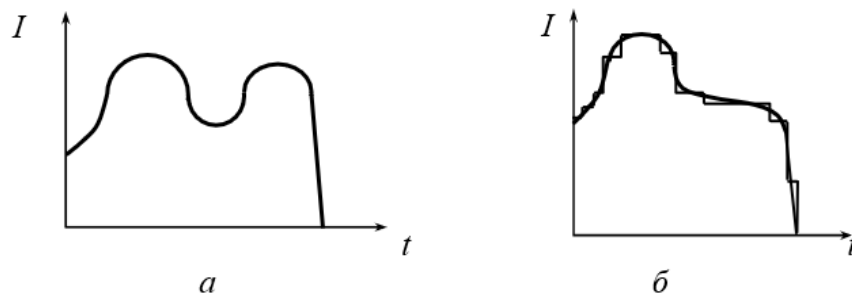


Рисунок 5.1 - Непрерывный (а) и дискретный (б) графики нагрузки

Под величиной нагрузки в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительными приборами с достаточно малой инерцией. Для решения практических задач непрерывный график, получаемый с помощью самопишущих приборов (рисунок 5.1, а) заменяют дискретным (рисунок 5.1, б).

Различают индивидуальные (для отдельных электроприёмников) и групповые (для группы электроприёмников) графики электрических нагрузок.

Групповой график электрических нагрузок складывается из индивидуальных графиков нагрузок электроприемников, входящих в данную группу. Степень регулярности групповых графиков определяется типами индивидуальных графиков и взаимосвязей электрических нагрузок электроприемников в технологическом процессе предприятия.

По продолжительности различают суточные и годовые графики нагрузок потребителей электроэнергии.

Суточные графики действующих предприятий строятся на основе показаний интегрирующих приборов учета электроэнергии и носят, как правило, ступенчатый характер (рисунок 5.2).

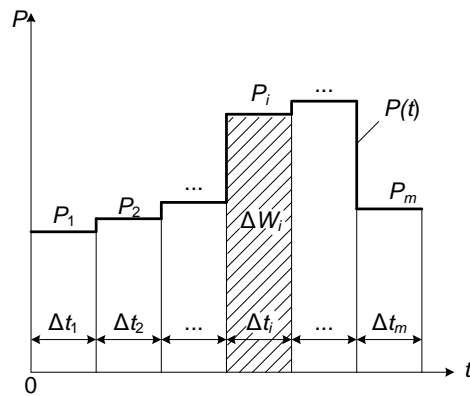


Рисунок 5.2 - График активной нагрузки в виде ступенчатой функции

Они отражают изменение нагрузки потребителя в течение суток, начиная с 0 до 24 часов. При расчетах часто ограничиваются двумя характерными суточными графиками активных и реактивных нагрузок: для летних (20-23 июня) и зимних (20-23 декабря) суток. В справочной литературе для каждой отрасли промышленности имеется свой типовой график.

Годовые упорядоченные графики строятся по убывающим ординатам активной и реактивной мощности в течение года. На таком графике по оси абсцисс откладывается время в часах (8760 ч), а по оси ординат – соответствующие нагрузки.

Годовой график составляется на основе суточных графиков нагрузки за все дни года (включая нерабочие дни). С достаточной для практических целей точностью годовой график по продолжительности можно построить на основе только двух характерных суточных графиков – зимнего и летнего (для Беларуси 200 суток по-зимнему и 165 - по летнему графику).

Порядок построения годового графика следующий. На суточном графике нагрузки выделяется максимальная нагрузка и время её действия в часах. Далее аналогично определяются следующие в порядке убывания значения нагрузок и их продолжительность из суточного графика и откладываются на годовом. Пример типового графика нагрузки по продолжительности приведен на рисунке 5.3.

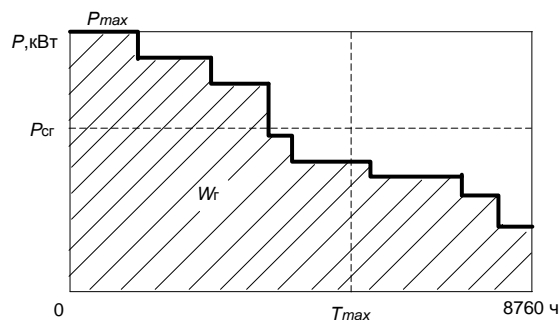


Рисунок 5.3 - Определение времени использования максимума нагрузки по годовому графику по продолжительности

По годовому упорядоченному графику можно определить годовой расход электроэнергии W_{Γ} , среднегодовую мощность $P_{с.г}$, длительность Δt_i каждой нагрузки P_i и годовое время использования максимальной нагрузки T_{\max} .

Годовое потребление электроэнергии по графику

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta t_i; \quad V_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Delta t_i.$$

где n – число ступеней графика.

Таким образом, типовые графики нагрузки (как правило, суточные) приводятся в справочной литературе, где нагрузка представлена в относительных единицах. Однако на практике оперировать с графиками нагрузки не всегда удобно, поэтому при расчётах электрических нагрузок, согласовании технических условий на электроснабжение, решении задач на лимитирование и управление электропотреблением используются показатели, характеризующими графики нагрузки.

Для анализа графиков используют следующие их численные характеристики: установленная мощность; средняя нагрузка; среднеквадратическая (эффективная) нагрузка; максимальная и минимальная нагрузки; годовое число часов использования максимума; расчетная нагрузка.

Под *установленной мощностью* группы понимают суммарную номинальную мощность электроприемников

$$P_{\text{уст}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}.$$

Номинальная мощность для любого электроприемника - это такая мощность, при которой в нормальном режиме работы его нагрев не превышает допустимого.

В качестве номинальной мощности для электродвигателей принимается мощность, указанная в паспорте, а для остальных токоприемников мощность, потребляемая им из сети (электрические печи, осветительные установки и т.п.).

Средняя нагрузка – постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени, которая вызывает такой же расход электроэнергии, что и реальная, изменяющаяся нагрузка за этот же промежуток времени T (год, сутки, наиболее загруженная смена):

$$P_c = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt.$$

Среднюю нагрузку для любого графика можно определить, например, за сутки $P_c = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i$, если длительность ступени 1 ч.

На практике средняя нагрузка определяется по показателям электрических счетчиков, либо других приборов, с помощью формул:

$$P_c = \frac{W}{T}, Q_c = \frac{V}{T}.$$

Среднеквадратическая (эффективная) нагрузка – такая неизменная в течение промежутка времени T нагрузка, которая вызывает потери мощности и электроэнергии (на нагрев) в элементах системы электроснабжения такие же как реальная изменяющаяся за это же время (T) нагрузка:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt}; I_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}; P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}.$$

Максимальная нагрузка – это наибольшая из средних нагрузок за рассматриваемый промежуток времени. При этом различают максимальную длительную и кратковременную нагрузки.

Максимальная длительная нагрузка характеризуется периодом усреднения от нескольких минут до нескольких часов. Она используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка характеризуется периодом усреднения от доли до нескольких секунд. Её называют кратковременной (пиковой) нагрузкой. Пиковая нагрузка используется для расчётов релейной защиты и автоматики, выбора аппаратов защиты, колебаний напряжения в сетях. Из максимальной длительной нагрузки важнейшее значение имеет расчётная нагрузка.

Под расчётной нагрузкой понимается такая условная нагрузка, которая эквивалентна реальной нагрузке по наиболее тяжелому тепловому эффекту. В связи с этим: расчётная нагрузка, определяющая нагрев (износ) изоляции и расчётная нагрузка, определяющая нагрев токоведущих частей.

Так как нагрев проводника определяется продолжительностью нагрузки, то должны существовать определённые периоды усреднения графика нагрузки. Наиболее часто длительность интервала осреднения принимается равной 30 мин, эта величина, равна утроенному значению постоянной времени нагрева токоведущих частей системы электроснабжения, на которые рассчитывается нагрузка.

Расчет всех элементов систем электроснабжения выполняется обычно из условия длительно допустимого нагрева.

Методы определения расчетных электрических нагрузок, применяемые в настоящее время в практике проектирования промышленных предприятий, следующие: с помощью коэффициента расчетной мощности; установленной мощности и коэффициента спроса; средней мощности и коэффициента формы графика.

Для определения расчетной нагрузки при известном графике нагрузки можно использовать статистический метод. Данный метод основывается на

результатах исследований, согласно которым групповая нагрузка (начиная с 4 – 5 электроприемников) подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. По этому закону, нагрузка от электроприемников может быть описана следующим выражением:

$$P = P_c \pm \beta \cdot \sigma,$$

P_c – средняя нагрузка при достаточно большом количестве осреднений m продолжительностью $3 \cdot T_0$:

$$P_c = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_m}{m},$$

σ – среднеквадратичное (стандартное) отклонение, определяемое по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - P_c)^2 + (P_2 - P_c)^2 + \dots + (P_m - P_c)^2}{m}},$$

P_1, P_2, \dots, P_m – средние значения нагрузки на каждом интервале осреднения продолжительностью $3 \cdot T_0$;

β – принятая кратность меры рассеяния ($\beta = -3 \dots +3$).

Придавая β различные значения, можно получить возможные значения нагрузки.

Число часов использования максимума нагрузки – это такое число часов работы данного элемента, за которое при максимальной нагрузке потребление электроэнергии было бы равно фактическому за все время работы по графику с переменной нагрузкой. Эта характеристика чаще всего применяется для годового графика нагрузки и представляет собой абсцисс прямоугольника, построенного по ординате P_{max} и равновеликого по площади ступенчатой трапеции годового графика нагрузки (рисунок 5.3). Вычисляется годовое число использования максимума нагрузки как отношение годового потребления электроэнергии к величине максимума нагрузки

$$T = \frac{W_{\Gamma}}{P_{max}}.$$

Для различных предприятий T_{max} составляет от 2000 до 6500 ч в год.

При анализе графиков нагрузок удобнее использовать безразмерными характеристиками в виде коэффициентов: коэффициент использования; максимума; спроса; заполнения; формы графика. Эти коэффициенты устанавливают связь между основными физическими величинами, характеризуют неравномерность графиков нагрузки, а также использование электроприёмников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Рассмотрим коэффициенты, характеризующие связь между основными физическими величинами графиков нагрузки:

-коэффициент максимума графика:

$$K_M = \frac{P_M}{P_c},$$

где $P_M (P_{max})$ — максимальная потребляемая активная нагрузка за рассматриваемый период.

Коэффициент максимума относится к групповым графикам нагрузки и устанавливает связь между средней и максимальной нагрузками за наиболее загруженную смену, т.е. $P_c = P_{см}$.

При проектировании систем электроснабжения используется коэффициент расчётной нагрузки:

$$K_p = \frac{P_p}{K_p \cdot P_{уст}},$$

где P_p — расчетная нагрузка, представляет собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

Коэффициент расчётной нагрузки определяется по справочной литературе.

-коэффициент заполнения графика:

$$K_3 = \frac{P_c}{P_M} = \frac{1}{K_M}.$$

Данный коэффициент определяется, как для группового, так и для индивидуального графика нагрузки.

-коэффициент формы графика:

$$K_\phi = \frac{P_{ск}}{P_c}, K_\phi \geq 1,$$

где $K_\phi = 1-1,2$ — для групповых графиков;

$K_\phi = 1-1,3$ — для индивидуальных графиков.

Коэффициент формы характеризует степень неравномерности графика нагрузки. Чем ровнее график нагрузки, тем ближе его K_ϕ к 1.

Коэффициенты, характеризующие режимы работы приемников и потребителей электроэнергии

-коэффициент включения:

$$K_B = \frac{t_B}{t_B + t_o + t_{xx}} = \frac{t_B}{t_u},$$

где t_B — время включения и работы электроприёмников;

t_0 – время отключения электроприёмника;

t_{xx} – время работы в режиме холостого хода.

Для групповых графиков коэффициент включения определяется, как средневзвешенное значение коэффициентов включения входящих в группу электроприёмников:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Bi} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}.$$

Коэффициент включения характеризует использование электроприемников по времени.

-коэффициент использования

Коэффициент использования – представляет собой отношение средней мощности ЭП (или группы ЭП) к номинальной мощности ЭП (или группы ЭП) за некоторый период.

$$K_H = \frac{P_{CM}}{P_{НОМ}}$$

Для группы электроприемников определяется средневзвешенное значение коэффициента использования, если электроприемники имеют разный режим работы:

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Hi} \cdot P_{НОМ}}{\sum_{i=1}^n P_{НОМ i}};$$

-коэффициент загрузки

$$K_3 = \frac{P_{CB}}{P_{НОМ}},$$

P_{CB} – средняя мощность электроприемников за время включения в течение цикла $P_{CB} = \frac{t_{ц}}{t_B} \cdot P_c$;

$$K_3 = \frac{t_{ц} \cdot P_c}{t_B \cdot P_{НОМ}} = \frac{t_{ц}}{t_B} \cdot K_H = \frac{K_H}{K_B} \Rightarrow K_3 = \frac{K_H}{K_B}.$$

-коэффициент спроса

Коэффициент спроса – это отношение максимально потребляемой мощности (в условиях эксплуатации) или расчетной активной нагрузки (при проектировании) к номинальной мощности электроприемника или группы электроприемников за рассматриваемый период.

$$K_c = \frac{P_M}{P_{\text{НОМ}}} = \frac{P_p}{P_{\text{НОМ}}};$$

$$K_c = \frac{K_M \cdot P_c}{P_{\text{НОМ}}} = \frac{K_M \cdot K_{II} \cdot P_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ}}} = K_M \cdot K_{II};$$

$$K_c = K_M \cdot K_{II};$$

$$K_c \leq 1.$$

Если $K_M = 1$, то $K_c = K_{II}$.

5.2. Методические указания по выполнению работы

Лабораторная установка представляет собой модель узла электрических нагрузок (рисунок 5.4). В качестве нагрузки используются асинхронные двигатели типа АОЛ-21/4 ($P_{\text{НОМ}}=270\text{Вт}$, $\cos\varphi=0,75$) - X_1, X_2, X_5, X_6 ; АОЛ-12/4 ($P_{\text{НОМ}}=180\text{Вт}$, $\cos\varphi=0,74$) - X_3 ; АОЛ-11/2 ($P_{\text{НОМ}}=150\text{Вт}$, $\cos\varphi=0,86$) и трехфазные проволочные реостаты ($P_{\text{НОМ}}=150\text{Вт}$) - ($R_1 \dots R_6$).

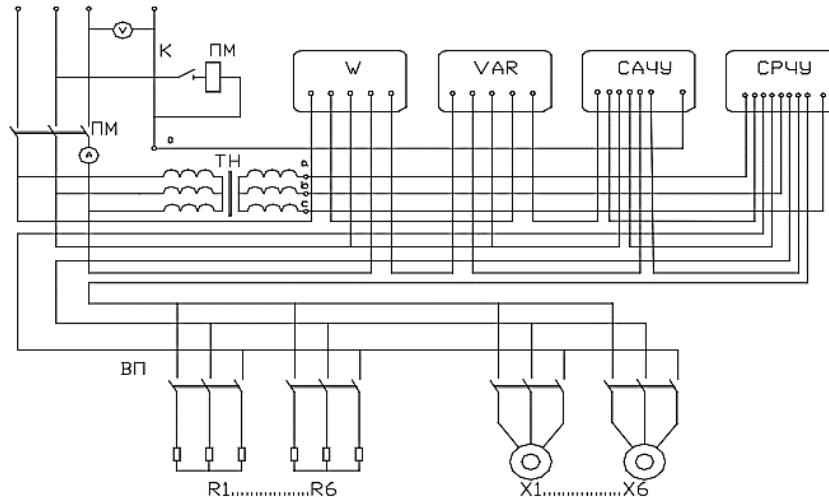


Рисунок 5.4 - Схема лабораторной установки

Стенд оснащен необходимыми коммутационными аппаратами и измерительными приборами. Питание осуществляется от сети переменного тока 400/230 В. Включение лабораторной установки производится при помощи магнитного пускателя, управляемого ключом К. Набор необходимых величин активной и реактивной нагрузки осуществляется пакетными выключателями ВП. Для измерения расхода электроэнергии установлены счетчики активной (САЧУ-И672Т) и реактивной (СРЧУ-673М). Для измерения мощности предусмотрены ваттметр (Д309) и варметр (Д309).

5.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкцию и ознакомиться со схемой лабораторной установки.
2. Заготовить таблицы 5.1 – 5.4.
3. Собрать электрическую схему лабораторной установки.
4. Разработать вариант формирования графика нагрузки по указанию преподавателя.

5. После разрешения преподавателя произвести снятие графика нагрузки, т.е. выполнить 24 замера длительностью в одну минуту. Результаты замера занести в таблицу 5.2.

6. Замеры выполнять в следующей последовательности:

а) согласно табл. 5.1 пакетными выключателями ВП выбрать нагрузку ступени;

б) при помощи ключа К включить схему под нагрузку, в течение одной минуты подсчитать число оборотов счетчика активной и реактивной энергии, снять показания ваттметра, вольтметра и амперметра;

в) при помощи ключа К отключить схему от сети для изменения ступеней нагрузки.

7. Вычислить все величины для заполнения таблицы 5.3.

8. Построить суточные графики активной и реактивной мощности и силы тока.

9. Вычислить необходимые показатели для заполнения таблицы 5.4.

10. Для каждого варианта задаются данные суточного типового графика нагрузки (таблица 5.5) и установленная мощность электроприемников потребителя (таблица 5.6).

11. Расчеты представить в виде таблиц 5.7.

Таблица 5.1. Состав приемников для формирования суточного графика нагрузки

Замер №	Состав реостатов и электродвигателей	Наименование ступеней
1		
...		
24		

Таблица 5.2 – Результаты опытов

№ п/п	Потребление электроэнергии				Мощность		Сила тока, А
	активной		реактивной		акт.	реак.	
	Число оборотов	W_i , кВт·ч	Число оборотов	V_i , квар·ч	P_i , кВт	Q_i , квар	
1							
...							
24							

$$W_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^{24} W_i ; \quad V_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^{24} V_i ;$$

$$W_i = \frac{60 \cdot n_p}{N_a} ; \quad V_i = \frac{60 \cdot n_p}{N_p},$$

где n_a, n_p - число оборотов диска счетчика за 1 мин;

N_a, N_p - постоянная счетчика – значение энергии, которое счётчик измеряет за один оборот.

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^{24} P_i}{24} ; \quad Q_c = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{24}$$

Таблица 5.3. Показатели суточного графика нагрузки

№ п/п	Наименование показателей	Расчетная формула	Значение и размерность
Установленная мощность:			
1	активная, кВт	$P_{уст} = \sum_{i=1}^n P_{iном}$	
	реактивная, квар	$Q_{уст} = \sum_{i=1}^n Q_{iном}$	
2	коэффициент реактивной мощности	$tg \varphi = \frac{Q_{уст}}{P_{уст}}$	
3	среднесуточный коэффициент реактивной мощности	$tg \varphi_{сут} = \frac{Q_c}{P_c}$	
4	коэффициент заполнения графика по активной мощности	$K_3 = \frac{P_c}{P_{макс}}$	
5	среднеквадратическая активная мощность, кВт	$P_{ск} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i^2}$	
6	средняя нагрузка за наиболее загруженную смену, кВт	$P_{см} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 P_i$	
7	коэффициент формы графика по активной мощности	$K_{\phi} = \frac{P_{ск}}{P_{см}}$	
8	коэффициент использования по активной мощности	$K_{и} = \frac{P_{см}}{P_{уст}}$	
9	коэффициент максимума по активной мощности	$K_{м} = \frac{P_{м}}{P_{см}}$	
10	коэффициент заполнения графика	$K_3 = \frac{P_{см}}{P_{м}}$	

	по активной мощности		
11	коэффициент спроса по активной мощности	$K_{ca} = \frac{P_m}{P_{уст}} = K_n \cdot K_m$	

Таблица 5.4. Показатели годового графика нагрузки

№ п/п	Наименование показателей	Расчетные формулы	Значения и размерности
Годовое потребление электроэнергии			
1	активное, кВт·ч	$W_{\Gamma} = W_{сут} \cdot 200 + P_{мин} \cdot 24 \cdot 165$	
	реактивное, квар·ч	$V_{\Gamma} = V_{сут} \cdot 200 + Q_{мин} \cdot 24 \cdot 165$	
Среднегодовая нагрузка			
2	активная, кВт	$P_c = \frac{W_{\Gamma}}{8760}$	
	реактивная, квар	$Q_c = \frac{V_{\Gamma}}{8760}$	
3	коэффициент реактивной мощности	$tg \varphi_{\Gamma} = \frac{Q_c}{P_c}$	
Минимальная нагрузка			
4	активная, кВт	$P_{мин}$	
	реактивная, квар	$Q_{мин}$	
Максимальная нагрузка			
5	активная, кВт	P_m	
	реактивная, квар	Q_m	
Годовое число часов использования максимума нагрузки			
6	активной	$T_{max} = \frac{W_{\Gamma}}{P_m}$	
	реактивной	$T_{рм} = \frac{V_{\Gamma}}{Q_m}$	

Примечание: по годовому графику нагрузок определяется K_3 и K_n .

Таблица 5.5. Данные типовых графиков нагрузки, по вариантам

Т,ч	Потребляемая мощность в часы смены, %														
	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0-1	100	52	98	68	94	60	70	75	42	74	54	100	39	72	77
1-2	98	54	60	70	100	62	65	70	44	76	46	66	95	100	47
2-3	96	95	60	72	97	64	60	100	46	78	82	95	90	70	67
3-4	94	58	60	74	54	100	65	95	48	80	75	68	60	95	68
4-5	92	60	60	76	46	66	75	90	50	82	68	70	32	74	64

t , час	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
P , %								
t , час	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
P , %								

5.4 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты измерений (таблицы 5.1, 5.2).
3. Показатели суточного и годового графика нагрузки (таблицы 5.3, 5.4) и рисунок суточного графика активной и реактивной мощности и силы тока.
4. Построить суточный типовой график нагрузки по варианту, заданному преподавателем.
5. Годовой график нагрузки, построенный исходя из суточного.
6. Расчетные данные привести в таблице 5.7.
7. Выводы.

5.5 Контрольные вопросы

1. Виды графиков электрических нагрузок.
2. Численные характеристики электрических нагрузок.
3. Коэффициенты, характеризующие графики электрических нагрузок.
4. Величины, характеризующие электрические нагрузки.
5. Какова взаимосвязь между физическими величинами, показателями графиков и режимов электрических нагрузок потребителей? Какие величины являются справочными?
6. Как рассчитываются и в чем заключается физический смысл величин, характеризующих графики нагрузки?
7. Как классифицируются графики нагрузки потребителей электроэнергии? Для решения каких практических задач они используются?
8. Как определить расход электроэнергии потребителя при известном графике нагрузки; при заданных величинах графиков нагрузки?
9. Каким методом определяется расчетная нагрузка потребителя электроэнергии, если известны графики нагрузки? Приведите расчетные формулы.

Лабораторная работа №6

ПОТРЕБИТЕЛИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: экспериментальное исследование режима потребления асинхронным электродвигателем (АД) активной и реактивной мощности при изменении нагрузки на его валу.

6.1 Краткие теоретические сведения

Реактивная мощность (РМ) электрических сетей и электрических цепей электроприемников затрудняют изменение параметров электроэнергии. Индуктивности препятствуют любому изменению тока в них, а емкости - изменению напряжения. Это происходит потому, что указанные элементы в определенные интервалы времени «запасают» и «отдают» электроэнергию. В сетях переменного тока это приводит к колебательному процессу обмена энергией между индуктивностями и емкостями, рассредоточенными между элементами электростанций, подстанций, ЛЭП и электроприемниками. Эта доля энергии называется *реактивной энергией*.

Потребление РМ не связано с потреблением активной мощности и обусловлено параметрами сети переменного тока и режимами ее работы. Активная мощность, генерируемая электростанциями, способна совершать работу и преобразовываться в механическую, тепловую, световую и химическую энергию.

Работа потребителей реактивной мощности Q (например: АД, трансформаторы) сопровождается непрерывным изменением рабочего тока и связанного с ним магнитного потока. При этом с увеличением мгновенного значения магнитного потока таких электроприемников в их магнитном поле накапливается энергия за счет потребления реактивной мощности от источника. С уменьшением магнитного потока энергия, накопленная магнитным полем электроприемников, также уменьшается. Процесс уменьшения энергии магнитного поля сопровождается возвращением реактивной мощности от электроприемника к источнику питания.

Таким образом колебательный процесс обмена реактивной мощностью между источником и электроприемниками не требует расхода активной мощности самого источника питания. Последний покрывает лишь потери активной мощности во всех звеньях схемы, где циркулирует реактивная мощность.

Несмотря на специфические особенности, в электроэнергетике РМ придают такой же смысл, как и активной мощности. Для нее приняты такие же понятия: потребление, генерирование, передача, потери и баланс мощности. При этом считается, что если ток отстает по фазе от приложенного к рассматриваемому элементу напряжения (индуктивный характер нагрузки), то реактивная мощность потребляется данным элементом и имеет

положительный знак. В том случае, когда ток опережает напряжение (емкостный характер нагрузки), РМ генерируется и имеет отрицательное значение.

Характерным признаком электроприемников, потребляющих реактивную мощность, является наличие в них индуктивных элементов, создающих электромагнитное поле.

Передача РМ на значительные расстояния от мест генерации до точек потребления связана с увеличением тока элементов системы электроснабжения (СЭС), а значит, с дополнительными потерями активной мощности и напряжения, что существенно ухудшает технико-экономические показатели СЭС.

Если рассматривать систему электроснабжения в широком смысле, начиная от шин генераторного напряжения и заканчивая электроприемниками, структура потребления реактивной мощности выглядит примерно так:

- трансформаторы — 45 % от общего потребления;
- асинхронные электродвигатели — 35 %;
- линии электропередачи и электрические сети напряжением до 1кВ — 13%;
- прочие потребители — 7 %.

В СЭС промышленных предприятий доля отдельных видов электроприемников и электрооборудования в общем потреблении реактивной мощности в среднем составляет следующие значения:

- асинхронные электродвигатели — 60-65 %;
- трансформаторы — 20-25 %;
- вентильные преобразователи, электротехнологические установки, реакторы, установки электрического освещения и др.— 10-20 %.

Потребление активной и реактивной мощностей асинхронным электродвигателем характеризуется графическими зависимостями, представленными на рисунка 6.1,*а*. Как следует из графиков, с изменением коэффициента загрузки K_z от 0 до 1, активная мощность P_1 , потребляемая АД, изменяется почти пропорционально нагрузке P_2 , на его валу. Изменение реактивной мощности Q , потребляемой двигателем, при этом происходит медленнее. Потребление РМ состоит из постоянной слагающей Q_0 (поток намагничивания) $Q_0 = (0,6 \div 0,85) \cdot Q_{xx}$ (поток холостого хода) – не зависящей от тока нагрузки и переменной Q_p (поток рассеяния) пропорциональной квадрату коэффициента загрузки. Поток рассеяния Q_p составляет $(0,4 \div 0,15) \cdot Q$.

Таким образом, коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi = Q/P$ с уменьшением нагрузки на валу АД быстро возрастает. Значение $\operatorname{tg}\varphi$ двигателя существенно зависит также и от величины напряжения на его выводах при номинальной нагрузке на валу. Графические зависимости P , Q и $\operatorname{tg}\varphi$ от подводимого напряжения (статистические характеристики АД) приведены на рисунке 6.1,*а,б*. Как следует из рисунка 6.1,*б* изменение подводимого к АД

напряжения сопровождается быстрым изменением Q и $\operatorname{tg}\varphi$ по сравнению с активной мощностью P_1 .

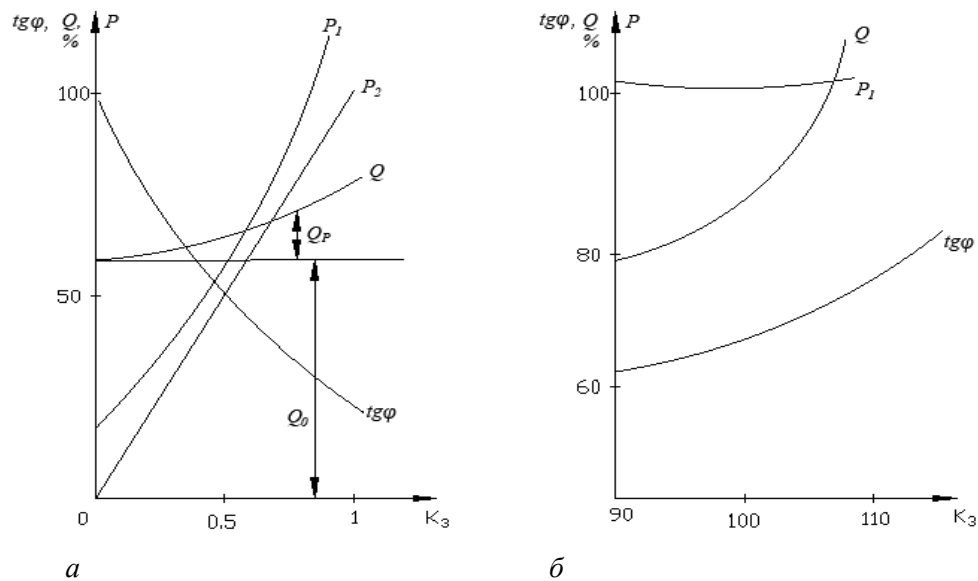


Рисунок 6.1 - Изменение характеристик АД в зависимости от различной загрузки

Значительная часть реактивной мощности Q потребляется трансформаторами, имеющимися в СЭС промышленных предприятий. Магнитопровод трансформатора, в отличие от электродвигателя, не имеет явно выраженного немагнитного (воздушного) зазора, являющегося большим сопротивлением на пути магнитного потока. Поэтому силовой трансформатор потребляет реактивную мощность меньше, чем асинхронный двигатель одинаковой с ним мощности.

В настоящее время прирост потребления РМ существенно превышает прирост потребления активной мощности. Все большую долю в общем объеме суммарных нагрузок занимают электроприемники с нелинейными характеристиками и с повышенным потреблением реактивной мощности (например, электропечные (дуговые, индукционные) установки, а также вентильные преобразователи постоянного тока и др.)

6.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему рисунок 6.2.

В качестве нагрузки на валу двигателя D_1 используется асинхронный двигатель D_2 , работающий в режиме динамического торможения (рисунок 6.2).

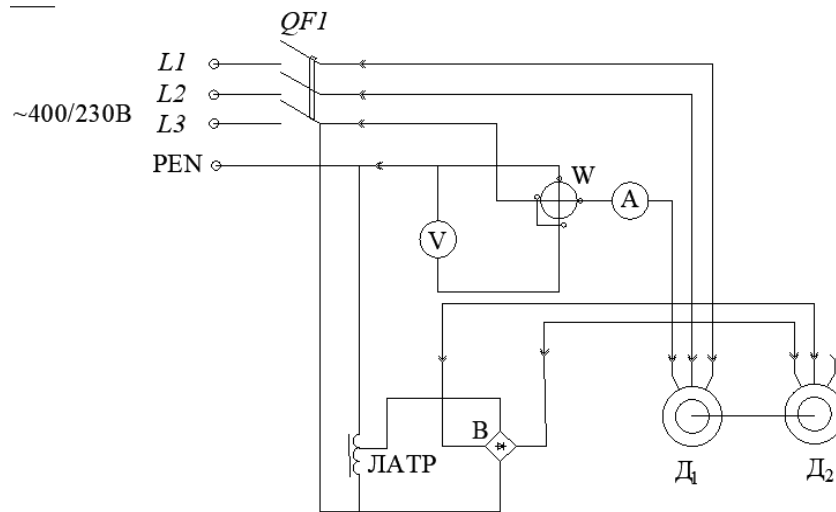


Рисунок 6.2 - Схема лабораторной установки

Изменение тормозного момента двигателя D_2 осуществляется изменением постоянного тока в его обмотках. Коэффициент загрузки двигателя D_1 определяется по приближенной формуле:

$$K_3 = \frac{P_1}{P_{1н}}$$

где P_1 – активная мощность, потребляемая из сети, Вт;

$P_{1н}$ – мощность, потребляемая из сети при $U = U_n$, $\eta = \eta_n$ и $P_{1н} = P_n / \eta_n$.

2. Измерить необходимые данные для построения графических зависимостей двигателя D_1

$$P = f(K_3), \quad Q = v(K_3) \text{ и } \operatorname{tg}\varphi = t(K_3).$$

Измерение произвести при (7-8) значениях тока нагрузки двигателя D_1 . Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1. Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Измерено			Вычислено				
	I_ϕ	U_ϕ	P_ϕ	$P = 3 \cdot P_\phi$	$S = 3 \cdot I_\phi \cdot U_\phi$	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	$\operatorname{tg}\varphi$	K_3
	А	В	Вт	Вт	В·А	вар	-	-

К работе на лабораторной установке допускаются студенты, прошедшие инструктаж по ТБ, а также усвоившие следующие положения:

На лабораторном стенде имеются трансформаторы тока ТТ1-ТТ4, поэтому для корректной работы стенда перед включением установки вторичные обмотки трансформаторов тока необходимо замкнуть накоротко.

6.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Паспортные данные двигателей D_1 и D_2 .
4. Таблица результатов измерений и вычислений.
5. Экспериментальные графические зависимости $P = f(Kз)$, $Q = f(Kз)$ и $\text{tg}\varphi = f(Kз)$.
6. Общий вид статических характеристик двигателя D_1 .
7. Основные характеристики потребителей реактивной мощности.
8. Вывод.

6.4. Контрольные вопросы

1. Основные потребители реактивной мощности в СЭС.
2. Для каких целей потребляется электроприемниками реактивная мощность?
3. Долевое участие в потреблении реактивной мощности отдельными группами электроприемников.
4. Как влияет наличие воздушного зазора в магнитопроводах электроприемников на потребление ими реактивной мощности?
5. Мероприятия по снижению потребления реактивной мощности.

Лабораторная работа №7

РЕЖИМЫ НЕЙТРАЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы: изучить и исследовать режимы нейтрали в электрических сетях.

7.1 Краткие теоретические сведения

Наиболее частыми повреждениями в электрических сетях (более 2/3) являются однофазные замыкания на землю. При однофазных замыканиях на землю можно выделить две его разновидности: 1) полнофазное КЗ, когда одна фаза сети наглухо соединяется с землей; 2) неполнофазное однофазное, когда фаза замыкается на земле через какие-либо посторонние естественные или искусственные сооружения – переходное сопротивление (дерево, гора, крыша дома, забор, труба, стог сена, стоящая сельскохозяйственная техника и т.д.).

В соответствии с ПУЭ электроустановки $U > 1000$ В подразделяются на установки с малыми токами замыкания на землю $I \leq 500$ А и большими – $I \geq 500$ А. Однофазное замыкание нарушает симметрию напряжений системы электроснабжения, которая по-разному реагирует на это в зависимости от способа заземления нейтрали. Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует следующую классификацию систем в зависимости от способа заземления нейтрали: 1) система с изолированной нейтралью; 2) нейтралью, заземленной через дугогасящую катушку; 3) глухозаземленная нейтраль; 4) система, нейтраль которой заземлена через активное сопротивление.

Выбор режима нейтрали является результатом учета многих технико-экономических факторов конкретной системы электроснабжения: ее экономичности; надежности в работе; бесперебойности электроснабжения; возможности ликвидации опасных напряжений; ограничения электромагнитного влияния на линии связи; безопасности выполнения работ и перспективности развития.

Чтобы определить, в какой степени тот или иной способ заземления нейтрали удовлетворяет указанным выше факторам, требуется подробное рассмотрение аварийных режимов при однофазных замыканиях на землю.

В трехфазной системе каждая фаза обладает емкостью по отношению к земле и сопротивлением изоляции. Сети с $U \geq 1000$ имеют $X_C \gg (R \text{ и } X_L)$, а распределенные вдоль линии емкости и сопротивления изоляции могут быть представлены в виде сосредоточенных эквивалентных емкостей C_A, C_B, C_C, C_0 и сопротивлений r_A, r_B, r_C, r_0 . В симметричной трехфазной системе ($q_A = q_B = q_C$, $C_A = C_B = C_C$) в нормальном режиме $U_A = U_B = U_C = U_0$, $I_A = I_B = I_C$, а $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ или $\dot{I}_0 = 0$, $\dot{U}_0 = 0$. Если $q_A \neq q_B \neq q_C$ или $C_A \neq C_B \neq C_C$, то симметрия системы нарушается даже при симметричной нагрузке.

В системе с изолированной нейтралью (рисунок 7.1а) $U_B = U_C = U_\phi$, $U_\phi = 0$, $\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB} + \dot{I}_{CC} = \dot{I}_0 = 0$. При однофазном замыкании фазы "С" на землю

(глухом) (см. рисунок 7.1б) напряжения и токи неповрежденных фаз относительно земли увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз (см. рис. 7.1в):

$$U'_A = \sqrt{3}U_A; U'_B = \sqrt{3}U_B; U'_C = 0; \text{ т.е. } U'_A = U'_B = \sqrt{3}U_\Phi;$$

$$U'_{CA} = \sqrt{3}U_{CA}; U'_{CB} = \sqrt{3}U_{CB}; U'_{CC} = 0; \text{ т.е. } U'_{CA} = U'_{CB} = \sqrt{3}U_C,$$

поэтому фазы системы должны быть изолированы относительно земли на межфазное напряжение.

При неполном замыкании фазы "С" на землю (через переходное сопротивление) напряжения неповрежденных фаз будут больше фазного, но меньше линейного, т.е. $U_A > \underline{U}'_A > U_\Phi$; $U_B > \underline{U}'_B > U_\Phi$, а напряжение поврежденной фазы будет больше нуля, но меньше фазного, т.е. $U'_\Phi > U'_C > 0$. Ток же однофазного замыкания будет меньше линейного, т.е.

$$I'_{CA} = \sqrt{3}I_{CA}; I'_{CB} = \sqrt{3}I_{CB}; I'_{CC} = 0;$$

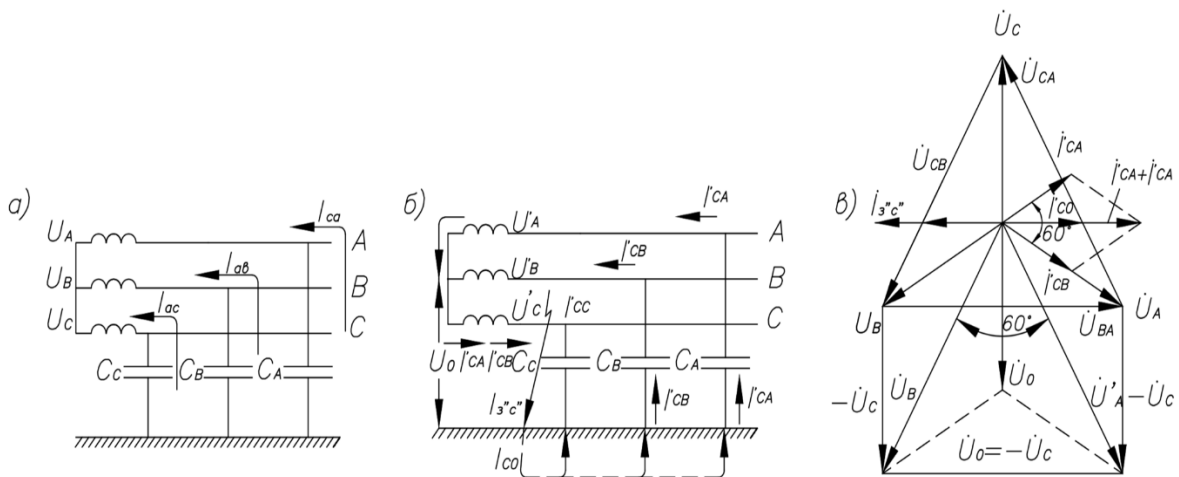


Рисунок 7.1

Емкостной ток замыкания на землю (рисунок 7.1 б, в) $I_{3''c} = -(I'_{CA} + I'_{CB}) = 3I_C = 3j\omega U_C$, т.к. $\dot{U}'_A + \dot{U}'_B = -3U_C$, т.к. при повреждении изоляции другой – будет двухфазное КЗ с большими токами, от которых срабатывает релейная защита.

В системах с компенсацией емкостных токов замыкания на землю используются в основном заземляющие катушки с настроенной индуктивностью (рисунок 7.2а). Условия нормального режима аналогичны рассмотренным выше.

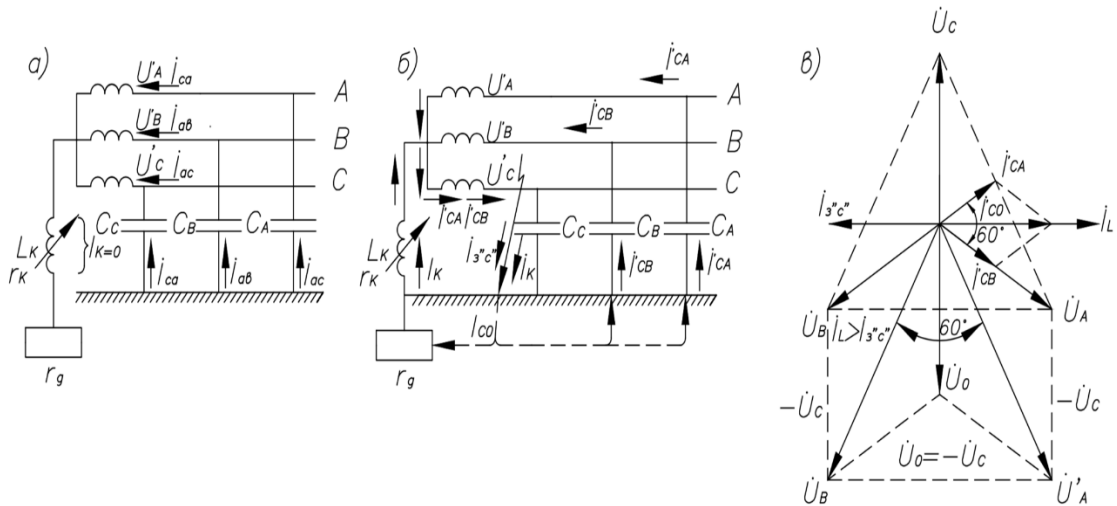


Рисунок 7.2

Углы между векторами \dot{U}'_A и \dot{U}'_B , $I'_{CA} + I'_{CB}$ равны 60° . Дугогасящая катушка (рисунок 7.2б) находится пол фазным напряжением ($U_0 = -U_A$) и через место замыкания протекают токи I_L и $I_{3''C''}$, находящиеся в противофазе. При резонансной настройке катушки $j\omega L_K = 1/3j\omega C_C$ и $I_{3''C''\text{рез}} = 0$, но этого добиться трудно из-за: 1) протекания емкостного тока I_{OK} ; 2) постоянно изменяющегося емкостного тока I_C ; 3) соблюдения условий $I_{3''C''\text{рез}} < I_{\text{сраб.защ}}$.

При условии резонанса, в предположении, что $r_K \ll \omega L_K$, а $I_{3''C''\text{рез}} = \dot{U}_C \cdot r_K / (r_K^2 + \omega^2 L_K^2)$, исключается возможность дуги в месте замыкания фазы на землю.

В системах с глухозаземленной нейтралью (3-х и 4-хпроводных) $I_{к.з.}$ ограничен только сопротивлением источников, линий и практически не зависит от R изоляции и C системы относительно земли, т.е. $r_3 \rightarrow 0$, а $Y_0 \rightarrow \infty$. При этом $I_{3''C''}$ достигает тысяч ампер, поэтому необходима четко работающая защита для каждой фазы. Величина напряжения неповрежденных фаз U'_A и $U'_B < 0,8U_A$. Сети 400/230, 230/133, а также 110 кВ и более работают с глухозаземленной нейтралью.

7.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со стендом, приборами, оборудованием и записать их основные данные.
2. Собрать схему согласно рисунок 7.3 и предъявить для проверки преподавателю. Студент обязан собрать только те участки схемы, которые изображены штриховыми линиями и включить недостающие переносные амперметры, показанные на схеме штриховыми прямоугольниками.
3. Исследовать электрические сети: с глухозаземленной нейтралью; изолированной нейтралью; нейтралью, заземленной через катушку

Примечание. Для аварийного режима автоматом АП₄ замыкается фаза "С" на землю наглухо или через переходное сопротивление $R_{пер}$. (см. рисунок 7.3) (по указанию преподавателя).

Система должна отключиться защитой. После этого опыта все автоматы и тумблеры стенда установить в положение "ОТКЛ", а с зажимов O_1 и O_2 снять перемычку.

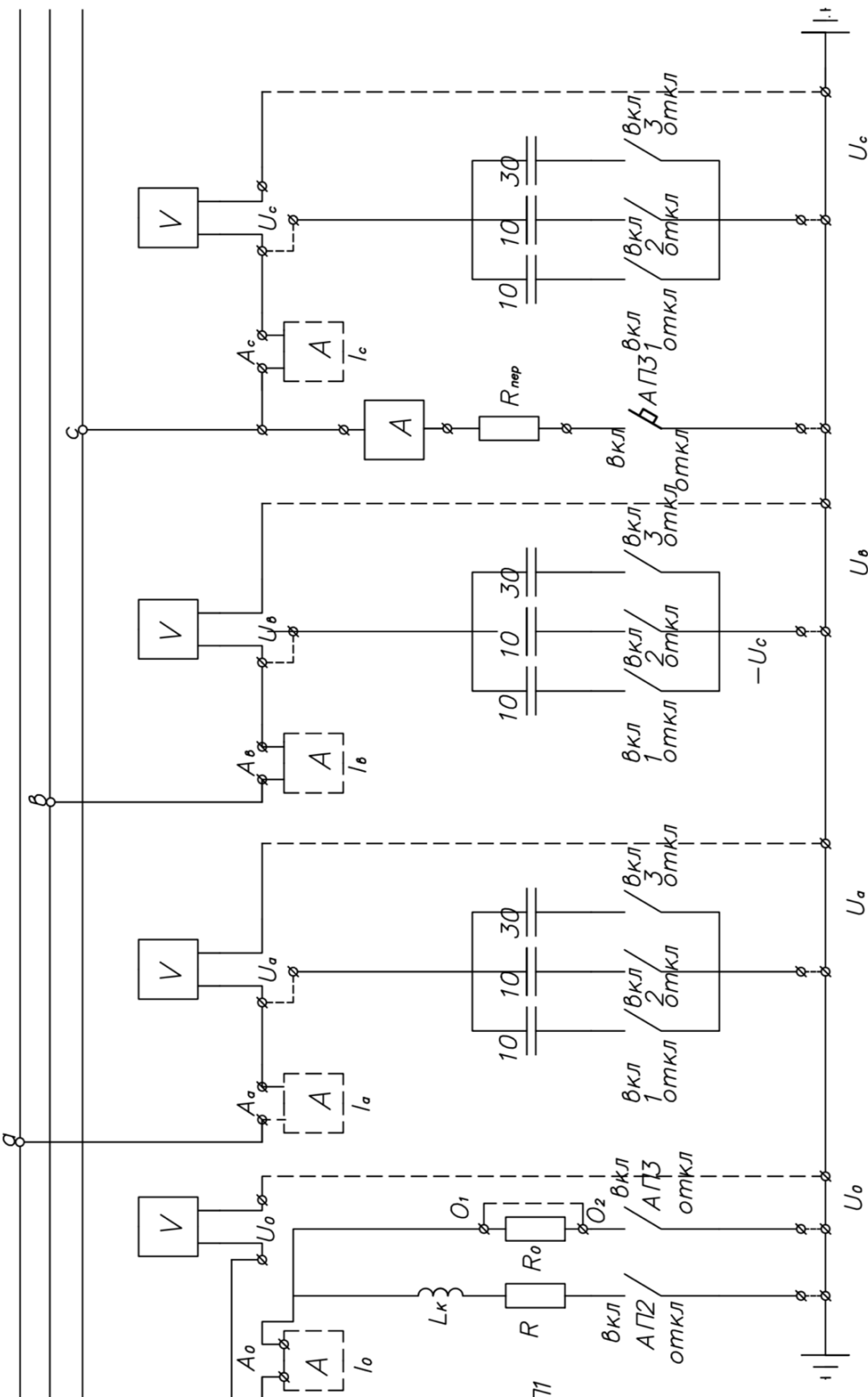
Система с изолированной нейтралью. Автоматом АП₁ подать напряжение на стенд (АП₂, АП₃, АП₄ отключены). В этой системе исследование нормального режима производится по данным ПП. 1) и 2) (см. таблицу 7.1) аналогично, как и для системы с глухозаземленной нейтралью. Полученные результаты измерений $U_0, U_A, U_B, U_C, I_0, I_A, I_B, I_C$ внести в таблицу 7.1.

Для аварийного режима работы: при симметричном состоянии системы установить $C_A=C_B=C_C=20$ мкФ (при емкостях фаз 40 или 50 мкФ ток фазы "С" превышает 5 А), кроме 50мкФ. Для обоих состояний системы автоматом АП₄ фазы "С" замыкается на землю наглухо, через переходное сопротивление $R_{пер}$ и производится измерения:

- 1) $U'_0, U'_A, U'_B, U'_C, I'_0, I'_A, I'_B, I'_C, I'_{3"С"}$
- 2) $U'_{0П}, U'_{АП}, U'_{ВП}, U'_{СП}, I'_{0П}, I'_{АП}, I'_{ВП}, I'_{СП}, I'_{3"С"П},$

которые заносятся в таблицу 7.1. После опытов все автоматы и тумблеры поставить в положение "ОТКЛ".

Системы с нейтралью, заземленной через катушку индуктивности L_K . Для этого автоматы АП₁ и АП₂ (АП₃ и АП₄ отключены). Автоматом АП₂ включается нейтраль трансформатора через катушку индуктивности на землю. Результаты измерений $U_0, U_A, U_B, U_C, I_0, I_A, I_B, I_C$ для симметричного и несимметричного состояния системы (см. пп. 1) и 2) таблицу 7.1) вносятся в таблицу 7.2.



Для аварийного режима работы: а) при симметричном состоянии системы установить $C_A=C_B=C_C=20$ мкФ, включить автоматом АП₄ фазу "С" на землю и измеренные величины $U'_0, U'_A, U'_B, U'_C, I'_0, I'_A, I'_B, I'_C, I'_{3"C"}$ внести в таблицу 7.2; б) отключить автоматом АП₂ катушку индуктивности L_K от земли, измерить $U'_0, U'_A, U'_B, U'_C, I'_0, I'_A, I'_B, I'_C, I'_{3"C"}$ внести в таблицу 7.2; в) на основании измерений при сопротивлении катушки $r_k=0,2$ Ом и $R=0,8$ Ом определить L_K и внести в таблицу 7.2 (после этих опытов АП₄ отключить, а АП₂ – включить); г) установить $C_A=C_B=C_C=10$ мкФ; $C_A=C_B=C_C=30$ мкФ и провести исследование по пп. а-в.

Системы с нейтралью, заземленной через активное сопротивление R_0 . После снятия перемычки с O_1 и O_2 автоматом АП₁ подается напряжение на стенд, а АП₃ вводится в нейтраль трансформатора R_0 . Исследование нормального режима работы при симметричном и несимметричном состояниях системы производится по данным пп. 1) и 2) (см. таблицу 7.1). Измеренные $U_0, U_A, U_B, U_C, I_0, I_A, I_B, I_C$ внести в таблицу 7.2.

Аварийный режим симметричного состояния системы $C_A=C_B=C_C=10...30$ мкФ (при 40 или 50 мкФ ток фазы "С" будет более 5 А) производится замыканием фазы "С" на автомат АП₄. Измеренные $U'_0, U'_A, U'_B, U'_C, I'_0, I'_A, I'_B, I'_C, I'_{3"C"}$ заносятся в таблицу 7.2. По измеренным величинам определить R_0 .

Запрещается прикасаться к выводам конденсаторов без предварительного их разряда.

7.3. Содержание отчета

1. Данные электрооборудования и используемых измерительных приборов.
2. Принципиальные схемы исследуемых систем с указанием направления токов в нормальном и аварийном режимах.
3. Таблицы с результатами измерений исследуемых систем электроснабжения.
4. Основные расчетные формулы и необходимые расчеты.
5. Векторные диаграммы напряжений и токов для нормального и аварийного режимов при различных параметрах исследуемых систем.

7.4. Контрольные вопросы

1. Что собой представляют системы электроснабжения с изолированной и глухозаземленной нейтралью? Начертите их.
2. Какие учитываются технико-экономические факторы системы электроснабжения при выборе нейтрали электроустановок.
3. Что собой представляет симметричная трехфазная система электроснабжения в нормальном режиме работы? Напишите основные соотношения электрических величин этой системы.

4. Когда нагружается симметрия системы при симметричной нагрузке.
5. Какие сети называются сетями с малыми токами замыкания на землю.
6. Чему равны напряжения относительно земли и токи неповрежденных фаз "А" и "В" при замыкании на землю фазы "С" для системы с изолированной нейтралью?
7. Почему Недопустима длительная работа сети с изолированной нейтралью при замкнутой на землю одной фазе?
8. В чем преимущества системы с компенсацией емкостных токов замыкания на землю перед системой с изолированной нейтралью?
9. В чем достоинства и недостатки системы с глухозаземленной нейтралью?

Лабораторная работа № 8

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НАПРЯЖЕНИЕМ 6 – 10 кВ

Цель работы: изучить назначение, конструктивное исполнение, принцип действия, технические характеристики и область применения комплектных распределительных устройств напряжением 6-10 кВ.

8.1 Краткие теоретические сведения

Комплектным распределительным устройством (КРУ) называют электроустановку, предназначенную для приема и распределения электрической энергии и состоящую из закрытых металлических шкафов с встроенными в них необходимыми аппаратами, токоведущими частями, измерительными и защитными приборами, вспомогательными устройствами.

Комплектные распределительные устройства практически полностью вытеснили обычные (сборные) распределительные устройства (РУ) 6-10 кВ, оборудование которых собиралось на месте монтажа. Шкафы комплектных РУ изготавливаются на специализированных предприятиях по отработанным технологическим процессам, в результате чего сокращаются трудовые затраты на электромонтажные работы и численность занятого на монтаже персонала, а также сроки строительства и ввода объектов в эксплуатацию. При монтаже на месте сооружения распределительных устройств камеры КРУ устанавливаются в последовательности, определяемой схемой РУ, боковыми стенками друг к другу, скрепляют болтами, прокладывают или соединяют сборные шины, подводят и подключают силовые и контрольные кабели. После испытаний созданное КРУ включают в работу. Практика эксплуатации комплектных РУ показала их более надежную работу, по сравнению со сборными РУ, при высоком качестве и безопасности обслуживания электроустановок.

Комплектные распределительные устройства 6-10 кВ классифицируются по следующим признакам:

- 1) размещению: для внутренней или наружной установки;
- 2) климатическому исполнению: для умеренного климата, тропического исполнения, холодостойкого исполнения и т.д.;
- 3) условиям обслуживания:
 - одностороннего обслуживания (прислонного типа), которые устанавливаются к стене с обслуживанием с фасадной стороны;
 - двухстороннего обслуживания (свободно стоящие), которые устанавливаются свободно с проходами с фасадной и задней стороны;
- 4) защищенности токоведущих частей: защищенного исполнения, открытого исполнения;
- 5) типу изоляции между токоведущими частями: воздушная, масляная, твердая, инертные газы;

- б) конструкции линейного вывода: с кабельными, шинными и с воздушными выводами;
- 7) роду оперативного тока: постоянный или переменный ток;
- 8) степени защиты от влияния окружающей среды: водобрызгокаплезащищенные, пылезащищенные, герметичные и взрывозащищенные;
- 9) типу основных коммутационных аппаратов, схеме главных и вспомогательных соединений и другим показателям.

В цепи присоединенного к сборным шинам КРУ для их включения и отключения для возможности выполнения оперативных переключений и ремонта оборудования устанавливаются различные электрические аппараты. Между собой они соединяются токоведущими частями, по ним протекают токи нагрузок, и они находятся под рабочим напряжением цепи. В этой связи они называются аппаратами первичных цепей. К аппаратам первичных цепей относятся: силовые выключатели, выключатели нагрузки, разъединители, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ограничители перенапряжений, токоограничивающие реакторы и др.

Выключатель является основным аппаратом, определяющим технические характеристики и принцип построения конструкции комплектного РУ. Он является наиболее сложным и наиболее ответственным электрическим аппаратом, а его надежность определяет надежность работы всего РУ.

В распределительных устройствах 6-10 кВ используют силовые выключатели следующих типов: маломасляные, электромагнитные, вакуумные и элегазовые. Различные типы маломасляных выключателей до сих пор широко используются в РУ 6-10 кВ существующих электрических сетей различного назначения, а электромагнитные выключатели напряжением выше 1 кВ напротив не получили широкого распространения и в настоящее время практически не выпускаются. Сравнение технических параметров выключателей показывает, что вакуумные и элегазовые выключатели имеют лучшие показатели. Это приводит к постепенному вытеснению маломасляных выключателей из сферы применения в РУ. Следует отметить, что вакуумные выключатели первого и второго поколения имеют ряд недостатков, одним из которых является возможность коммутационных перенапряжений при отключении небольших индуктивных токов (холостой ход трансформатора), что влечет за собой необходимость использования ограничителей перенапряжения. В вакуумных выключателях также требуется постоянный контроль отсутствия напряжения на всех трех фазах после отключения присоединения, так как в случае потери вакуума в одной из дугогасительных камер может произойти приваривание контактов. Элегазовые выключатели требуют устройств для очистки, заполнения и перекачки элегаза, а при низких температурах окружающего воздуха - и специальных подогревающих устройств.

Когда применение довольно дорогих силовых выключателей оказывается экономически нецелесообразным, в КРУ могут быть установлены

выключатели нагрузки (ВН). ВН представляет собой разъединитель с простейшей дугогасительной камерой. Он приспособлен для включения и отключения рабочих токов нагрузки. Для осуществления защиты от токов короткого замыкания необходимо дополнительно устанавливать высоковольтные плавкие предохранители. Последнее время выключатель нагрузки находит все большее применение. При этом гашение дуги выполняется разнообразными способами: коммутации в воздухе, в вакууме, в элегазе, в трансформаторном масле и т.п.

Разъединители устанавливаются в цепях для создания видимого разрыва в цепи между ее оборудованием и оборудованием других цепей, которые могут находиться под напряжением и продолжать работать. Для безопасности обслуживания и ремонта оборудование отключенной цепи не только отделяется от цепей, оставшихся под напряжением, но и заземляется. В общем случае в цепях требуется установка разъединителей с тех сторон оборудования цепи, откуда на него может быть подано напряжение. Поэтому линейные разъединители в камерах КРУ на линиях к электродвигателям, электрическим печам, батареям высоковольтных конденсаторов, а также к трансформаторам, которые не имеют связи на вторичном напряжении не устанавливаются, так как в этих случаях исключена возможность появления напряжения со стороны потребителя.

Измерительные трансформаторы тока обеспечивают питание токовых обмоток измерительных приборов, устройств защит, автоматики. Обычно в каждой фазе устанавливают несколько комплектов трансформаторов тока или трансформаторы тока с несколькими вторичными обмотками, каждая из которых питает отдельные приборы и устройства. На питающих и отходящих кабельных линиях в КРУ устанавливают трансформаторы тока нулевой последовательности, которые предназначены для контроля замыкания одной из фаз кабеля на землю.

Измерительные трансформаторы напряжения присоединяются к сборным шинам РУ. Они необходимы для питания обмоток напряжения измерительных приборов и устройств защит.

Комплектные распределительные устройства, предназначенные для работы в закрытых помещениях, в зависимости от способа установки электрических аппаратов разделяют на следующие серии:

- комплектные распределительные устройства выкатного исполнения (камеры типа КРУ, К, КМ и др.);
- комплектные стационарные распределительные устройства одностороннего обслуживания (камеры типа КСО и др.).

8.1.1 Комплектные распределительные устройства выкатного исполнения внутренней установки

Комплектные распределительные устройства выкатного исполнения внутренней установки (далее КРУ с выкатной тележкой) изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 14693–90 и (или) технических условий на

КРУ конкретных типов по рабочей конструкторской документации и типовым схемам главных и вспомогательных цепей, утвержденным в установленном порядке. По согласованию между потребителем и изготовителем допускается изготовление шкафов КРУ по нетиповым схемам главных и вспомогательных цепей.

Типовая ячейка КРУ напряжением 6-10 кВ имеет четыре отсека.

Разбивка объема ячейки на отсеки диктуется тем, что возможные повреждения отдельных элементов должны быть строго локализованы, иначе при аварии возможны не только выход из строя отсека, но и повреждение всего КРУ.

В КРУ выкатного исполнения выключатель монтируется на тележке, которая позволяет выкатывать его вместе с приводом для ревизии и ремонта. Механизм выкатывания заблокирован с механизмом выключателя. Выкатывание возможно только тогда, когда выключатель отключен. Тележка выключателя имеет три фиксированных положения: рабочее, когда разъединители включены; промежуточное, когда разъединители отключены, но цепи вторичной коммутации и управления приводом остаются включенными; положение, когда все цепи отключены и выключатель может быть извлечен из ячейки полностью и направлен на ремонт. Вместо него может быть установлен резервный выключатель с теми же техническими параметрами. В качестве разъединителя в КРУ применяются специальные контакты штепсельного типа.

Релейный отсек имеет дверь, на которой расположены измерительные приборы, указательные реле, сигнальные лампы, ключи и кнопки управления. Реле защит устанавливается на поворотной панели внутри релейного отсека. На его внутренних стенках имеются зажимы вторичных цепей.

8.1.2 Комплектные стационарные распределительные устройства одностороннего обслуживания

Разновидностью комплектных РУ являются - камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО). Камеры КСО более просты, дешевы и занимают меньше пространства по сравнению с выкатными камерами КРУ. Конструкция комплектных стационарных распределительных устройств обеспечивает достаточную и безопасную обзорность и доступность оборудования без снятия напряжения со сборных шин. Электрооборудование в камере расположено стационарно. В ней нет деления пространства ячейки на отсеки специальными перегородками, как это сделано в КРУ выкатного типа. Это делает невозможным локализацию аварии, что снижает надежность работы РУ. В камерах КСО могут устанавливаться как силовые выключатели, так и выключатели нагрузки.

8.1.3 Комплектные распределительные устройства

с элегазовой изоляцией

Сравнительно недавно началось массовое производство еще одного типа компактных РУ на напряжение 6-10 кВ. Малых габаритов этих устройств удалось достичь благодаря применению в них в качестве дугогасительной, теплоотводящей и изолирующей среды элегаза (электротехнического газа), представляющего собой шестифтористую серу (SF_6).

Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ) представляет собой герметичный контейнер из нержавеющей стали с гальваническим покрытием. В нем размещены все токоведущие части и коммутационная аппаратура. В этот цельносварной резервуар элегаз закачен под избыточным давлением около 0,2 МПа. Уровень давления в резервуаре контролируется с помощью специального датчика (манометра). Применение элегаза под избыточным давлением обуславливает более высокие требования к механической прочности оболочки, поэтому применяется довольно прочная сталь толщиной около 3 мм. Также предусмотрены предохранительные клапаны сброса избыточного давления на случай его недопустимого повышения (из-за наличия электрической дуги или других ситуаций), способного привести к разрушению или деформации стенок КРУЭ.

Данные РУ могут выполняться в виде многомодульной конструкции, при которой в одном моноблоке с общей изоляцией может размещаться до пяти присоединений. В КРУЭ могут применяться трехпозиционные переключатели поворотного типа, выполняющие функции выключателя нагрузки, разъединителя и заземлителя. Интеграция трех функций в одном аппарате снижает количество деталей до минимума, обеспечивает простоту и надежность конструкции. Гашение электрической дуги осуществляется на основе принципа автодутья в элегазе. Путем последовательного поворота по часовой стрелке подвижных контактов переключатель переводится в положения: «Включено» – «Отключено» – «Заземлено». Включение присоединения производится в обратной последовательности. Все присоединения имеют необходимый набор блокировок, исключающих ошибочные действия персонала. Для защиты трансформатора, возможно использование комбинации выключателя нагрузки с предохранителем, либо силового выключателя с устройством релейной защиты. Выключатель нагрузки в комбинации с предохранителем обеспечивает надежную защиту трансформаторного присоединения от токов КЗ. Максимальная мощность силового трансформатора, который может питаться от модуля с комбинацией выключатель нагрузки – предохранитель составляет 3000 кВ·А. Для защиты от перегрузок мощных трансформаторов используются силовые выключатели, которые могут быть элегазовые и вакуумные. Они позволяют отключать токи в нормальном и аномальном режимах. Последовательно с силовым выключателем в главную цепь включается разъединитель с функцией заземления. Все модули оснащаются механической блокировкой между силовым выключателем и разъединителем.

8.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя камеру сборную одностороннего обслуживания серии КСО-Ин99; комплектное распределительное устройство серии КУ-10Ц с выключателем на выкатной тележке; и комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией SafeRing конфигурации CCCV фирмы АВВ.

Камера КСО-Ин99 оснащена вакуумным выключателем типа ВВ/TEL-10-20/1000 фирмы Таврида-Электрик, а также линейным и шинным разъединителями РВЗ-10/630. В камере установлены трансформаторы тока ТПОЛ 10 и трансформатор тока ТЗЛМ. В релейном отсеке камеры установлен блок питания схемы управления вакуумного выключателя ВР/TEL, блок управления выключателем ВU/TEL, разделительный трансформатор, счетчик активной энергии, амперметр и блоки испытательные БИ-4. На лицевой стенке релейного отсека смонтирована мнемосхема камеры с указателями положения выключателя и разъединителей с заземляющими ножами, а также кнопки дистанционного управления силовым выключателем.

КРУ серии КУ-10Ц оснащена вакуумным выключателем типа ВР1-10-20/1000, который расположен на выкатной тележке. В камере установлены трансформаторы тока типа ТЛК 10 и ТЗЛМ. В релейном отсеке шкафа размещено оборудование токовых защит и измерительные приборы. На лицевой стенке отсека смонтирован ключ дистанционного управления с лампами сигнализации положения выключателя в камере. В кабельном отсеке установлены ограничители перенапряжений типа КР/TEL

КРУЭ типа *SafeRing* конфигурации CCCV (*C* – выключатель нагрузки, *V* – вакуумный выключатель) представляет собой моноблок на четыре присоединения, находящихся в общей герметичной оболочке, заполненной элегазом. В КРУЭ на трех присоединениях установлены трехпозиционные переключатели поворотного типа, выполняющие функции выключателя нагрузки, разъединителя и заземлителя. Четвертое присоединение имеет вакуумный выключатель и трехпозиционный разъединитель и заземлитель. Приводы трехпозиционного переключателя и силового выключателя смонтированы снаружи газового резервуара в закрытом лицевой панелью отсеке и легкодоступны для внешнего осмотра. Все приводы снабжены механическими индикаторами положения. В КРУЭ типа *SafeRing* для контроля напряжения на кабельных присоединениях предусмотрены емкостные делители напряжения, выполненные в виде проводящего экрана, находящего в корпусе кабельного ввода. Индикаторы в виде трех неоновых ламп, подсоединенные к этим делителям, сигнализируют о наличии или отсутствии напряжения. Релейный отсек в КРУЭ отсутствует.

8.3 Порядок выполнения работы

Изучить:

- 1) назначение и конструкцию комплектных распределительных устройств, их основных узлов и механизмов;
- 2) взаимодействие всех элементов узлов и механизмов;
- 3) основные технические параметры камер КРУ (номинальные напряжения, номинальные рабочие токи и токи отключения встраиваемых выключателей, параметры динамической и термической стойкости);
- 4) типовые схемы главных цепей камер КРУ;
- 5) особенности камер КРУ различных серий и области их применения.

Составить:

- 1) однолинейную электрическую схему первичных соединений камер КРУ, представленных в лаборатории;
- 2) описание камеры КРУ (по заданию преподавателя);
- 3) РУ из комплектных элементов (КРУ, КСО, КРУЭ) по заданию преподавателя.

Для изучения конструкций камер КРУ необходимо прочесть теоретические сведения по данной работе, рассматривая и анализируя графический материал и образцы камер КРУ, представленных в лаборатории.

При изучении камер КРУ требуется произвести операции включения и отключения коммутационных аппаратов, установленных внутри камеры, при этом обратить внимание на действие блокировок. Изучая конструкцию КРУ с выключателем на выкатной тележке необходимо создать рабочее, контрольное и ремонтное положение тележки, предварительно убедившись в отключенном состоянии выключателя камеры.

Составление описания выбранной камеры следует начать с электрической схемы первичных соединений. Рассмотреть деление камеры на отсеки и описать расположенное в них оборудование. Отразить основные технические параметры (в форме таблицы) выбранного КРУ, описать какие имеются блокировки безопасности и как они выполнены, как соединяются сборные шины и другие токоведущие части главной цепи и т.д.

8.4 Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схемы первичных соединений имеющихся в лаборатории комплектных распределительных устройств.
3. Детальное описание одной из камер КРУ.
4. Принципиальная однолинейная схема РУ из комплектных элементов (КРУ, КСО, КРУЭ).

8.5 Контрольные вопросы

1. Какое назначение комплектных распределительных устройств?

2. Какие преимущества использования КРУ перед другими типами РУ?
3. Из каких основных отсеков состоит камера типа КРУ?
4. Для чего отсеки отделяют друг от друга перегородками?
5. Какими аппаратами комплектуется камеры типа КРУ и КСО?
6. Каково назначение и конструктивное исполнение отдельных элементов комплектного распределительного устройства?
7. Чем отличаются между собой изученные камеры КРУ? Преимущества и недостатки КРУ с элегазовой изоляцией перед КРУ с воздушной изоляцией.
8. В каких положениях может находится выкатная тележка, и что означает каждое положение?
9. Какими блокировками оснащаются камеры КРУ?

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

электронного учебно-методического комплекса

**по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ»**

для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

РАЗДЕЛ III. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ, ЗАЧЕТУ, ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАЧ

3.1 Вопросы к экзамену

1. Основные понятия и определение потребителей и электроприемников электроэнергии.
2. Режимы работы электроприемников по нагреву: продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный.
3. Номинальная мощность электроприемников. Номинальные напряжения. Род и частота тока.
4. Категории электроприемников по надежности электроснабжения.
5. Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников: использования, включения, загрузки, максимума и спроса.
6. Основные понятия и определение электрической нагрузки: установленная мощность, средние, среднеквадратические, максимальные и расчетные электрические нагрузки.
7. Графики электрической нагрузки и их показатели.
8. Способы регулирования графика нагрузки.
9. Определение расчетных нагрузок по коэффициенту расчетной нагрузки.
10. Определение расчетных нагрузок по коэффициенту спроса и установленной мощности.
11. Определение расчетных нагрузок по удельной нагрузке на единицу производственной площади.
12. Определение расчетных нагрузок по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции.
13. Пиковые нагрузки.
14. Назначение, устройство, принцип работы контактора.
15. Назначение, устройство, принцип работы магнитного пускателя.
16. Назначение, устройство, принцип работы теплового реле.
17. Назначение, устройство, принцип работы предохранителя.
18. Назначение, устройство, принцип работы автоматического выключателя.
19. Назначение, устройство, принцип работы, выбор масляного выключателя.
20. Назначение, устройство, принцип работы, выбор вакуумного выключателя.
21. Назначение, устройство, принцип работы, выбор выключателя нагрузки.
22. Назначение, устройство, принцип работы, выбор разъединителя.
23. Назначение, устройство, принцип работы и выбор трансформатора тока.

24. Назначение, устройство, принцип работы и выбор трансформатора напряжения.

25. Схемы включения трансформаторов тока и напряжения. Классы точности трансформаторов.

26. Причины появления сверхтоков в электрических сетях до 1 кВ.

27. Принципы защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ от сверхтоков.

28. Выбор плавких предохранителей и автоматических выключателей.

29. Защитные характеристики автоматического выключателя.

30. Выбор защитных аппаратов по условию селективности.

31. Расчет электрических сетей напряжением до 1кВ по потере напряжения.

32. Провода и кабели, применяемые в электрических сетях напряжением до 1кВ.

33. Конструктивное исполнение электрических сетей до 1кВ (шинопроводы, кабели, электропроводка).

34. Распределительные устройства напряжением до 1 кВ.

35. Выбор сечений проводников по допустимому нагреву.

36. Проверка выбранных сечений жил кабелей напряжением до 1 кВ по термической стойкости.

37. Выбор сечения нулевых и защитных проводников.

38. Режимы нейтрали в электроустановках до 1 кВ.

39. Схемы внутрицеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.

40. Схемы осветительных электрических сетей.

41. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжении выше 1 кВ.

42. Источники питания электроэнергии.

43. Главная понизительная подстанция и распределительные пункты.

44. Цеховые трансформаторные подстанции.

45. Комплектные распределительные устройства на напряжение 6/10 кВ (КСО, КРУ).

46. Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ.

47. Выбор сечений проводников электрической сети по экономической плотности тока.

48. Определение сечений жил кабелей по допустимому нагреву выше 1 кВ.

49. Выбор сечений жил кабелей по нагреву током короткого замыкания выше 1кВ.

50. Марки кабелей напряжением 6-10 кВ.

51. Способ прокладки кабелей.

52. Схемы внутризаводского электроснабжения.

53. Схема глубокого ввода.

54. Расчет токов короткого замыкания до 1 кВ.

55. Расчет токов короткого замыкания выше 1 кВ.

56. Реактивная мощность в электрических сетях.

57. Снижение потерь мощности и напряжения при установке компенсирующих устройств.

58. Способы снижения реактивных нагрузок потребителей, не требующие компенсации реактивной мощности.

59. Источники реактивной мощности. Батареи статических конденсаторов.

60. Источники реактивной мощности. Синхронные электродвигатели. Синхронные компенсаторы. Синхронные генераторы.

61. Учет и контроль потребления мощности и электрической энергии на промышленных предприятиях.

62. Основные пути экономии электроэнергии на промышленных предприятиях.

3. 2 Вопросы к зачету

1. Потребители электроэнергии и их классификация.

2. Что называется графиком электрических нагрузок?

3. По каким коэффициентам оценивается равномерность графика нагрузки?

4. На какие виды делятся индивидуальные графики электрических нагрузок?

5. Как подразделяются групповые графики электрических нагрузок по периодичности их реализации?

6. Методы определения расчетных электрических нагрузок.

7. Автоматические выключатели – назначение, устройство, принцип работы. Выбор автомата.

8. Контактторы постоянного и переменного тока. Устройство, принцип работы и схема управления, основные параметры.

9. Магнитный пускатель, тепловое реле - назначение, устройство, принцип работы, выбор.

10. Предохранитель - назначение, устройство, принцип работы, выбор плавких предохранителей.

11. Масляные выключатели, вакуумные, газогенерирующие. Устройство, принцип работы, выбор.

12. Разъединители внутренней и наружной установки. Устройство, принцип работы, выбор.

13. Трансформаторы тока и напряжения. Назначение, схемы, включения, классы точности.

14. По каким схемам сооружаются внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ промышленных объектов?

15. От каких факторов зависит выбор схемы и конструктивного исполнения внутрицеховых электрических сетей?

16. Условия выбора сечения проводников силовых электрических сетей на напряжение до 1 кВ?

17. Как обеспечивается избирательность защиты в электроустановках напряжением до 1 кВ?
18. Как строится карта селективности защиты?
19. Для чего осуществляется компенсация реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий?
20. Какие средства для компенсации реактивной мощности применяются на промышленных предприятиях?
21. Почему номинальная мощность силовых распределительных трансформаторов выбирается по активной нагрузке?
22. Какие трансформаторные подстанции применяются на промышленных предприятиях?
23. Как выбираются места расположения трансформаторных подстанций на промышленных предприятиях?
24. По каким условиям выбирается сечение жил кабелей напряжением 6-10 кВ?
25. Сколько подстанций можно подключать к магистральной линии глубокого ввода?
26. В каких случаях допускается применять напряжение 6 кВ для распределительной сети производственного объекта?
27. Для каких потребителей применяются двухставочные тарифы на электроэнергию?
28. Способы выравнивания графиков электрических нагрузок.
29. Мероприятия по экономии электроэнергии в системах электроснабжения.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ
электронного учебно-методического комплекса
**по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ»**
для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» разработана для специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика».

Целью изучения данной дисциплины является приобретение студентами профессиональных навыков в вопросах рационального распределения и использования потребляемой электроэнергии на промышленном предприятии.

Основными задачами преподавания дисциплины являются:

- ознакомить студентов с методами расчета электрических нагрузок на промышленном предприятии;
- ознакомить студентов со схемами и конструктивным исполнением системы электроснабжения предприятия;
- освоить основные вопросы проектирования и эксплуатации систем электроснабжения: определение числа и мощности трансформаторов, компенсации реактивной мощности, учета и контроля электропотребления и д.р.

Учебная дисциплина «Электроснабжение промышленных предприятий» базируется на знаниях. Полученных при изучении таких дисциплин как:

математика – линейная алгебра, векторный анализ, дифференциальное исчисление, интегральное исчисление;

физика – электричество и магнетизм;

электротехника и промышленная электроника – линейные электрические цепи постоянного и переменного тока, переходные процессы в электрических цепях, трансформаторы, электродвигатели постоянного и переменного тока.

В результате изучения учебной дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» студент должен:

знать:

- методы расчета электрических нагрузок;
- устройство, принцип действия и условия выбора электрических аппаратов управления и защиты;
- основные схемы распределения электрической энергии на напряжении до и выше 1 кВ;

уметь:

- рассчитывать электрические нагрузки групп электроприемников;
- выбирать электрические аппараты управления и защиты;
- выполнять расчет силовой сети напряжением до 1 кВ;

владеть:

- методикой составления схем распределения электрической энергии;
- методами расчета электрических нагрузок и выбора защитных аппаратов.

Освоение данной учебной дисциплины является важным звеном в подготовке инженеров – промтеплоэнергетиков и должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

ПК-1. Используя показатели технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, создавать условия для соответствия режимов действующим стандартам, правилам и нормам.

ПК-4. Составлять энергетические балансы энергетических и технологических объектов и систем, определять потери топливно – энергетических ресурсов, разрабатывать организационные и технологические мероприятия по повышению энергетической эффективности теплотехнологий.

ПК-6. Осуществлять оперативный контроль за функционированием электрооборудования, электротехнологических установок, электрических сетей и режимами их работы.

ПК-9. В составе группы специалистов по проектированию теплотехнических объектов и систем и самостоятельно разрабатывать перспективный план развития промышленных теплоэнергетических и теплотехнологических систем, выполнять технико – экономическое обоснование вариантов сооружения или реконструкции теплоэнергетического и теплотехнологического объекта в энергетике, промышленности и других отраслях народного хозяйства.

ПК-13. Вести поиск альтернативных методов решения профессиональных задач с учетом последних достижений науки и техники.

ПК-17. Анализировать и оценивать тенденции развития техники и технологий.

ПК-19. Пользоваться контрольно – измерительной аппаратурой для контроля правильности и качества монтажных операций.

ПК-23. Взаимодействовать со специалистами смежных профессий.

ПК-31. Работать с научной, технической и патентной литературой.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования всего 160 ч., из них аудиторных - 80 часов;

- для заочной формы получения высшего образования всего 160 ч., из них аудиторных – 24 часа;

- для заочной формы (сокращённый срок обучения) получения высшего образования всего 160 ч., из них аудиторных – 20 часа.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
5	9	48	16	16	зачет, экзамен

Таблица 2.

Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
6	11	12	6	8	зачет, экзамен

Таблица 3.

Заочная форма (сокращённый срок обучения) получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
4	7	12	4	4	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел I. ВВЕДЕНИЕ

Тема 1.1. Цели и задачи дисциплины

Исторический обзор развития электроэнергетики. Понятие об энергетических системах.

РАЗДЕЛ II. ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Тема 2.1. Приемники и потребители электроэнергии

Приемники электроэнергии и их классификация. Характеристика потребителей электроэнергии. Графики электрических нагрузок.

Тема 2.2. Определение электрических нагрузок

Основные величины и коэффициенты, применяемые при расчете электрических нагрузок. Методы определения электрических нагрузок.

РАЗДЕЛ III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Тема 3.1. Электрические аппараты напряжением до 1 кВ

Контакты. Магнитные пускатели. Тепловые реле. Предохранители. Автоматические выключатели. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.

Тема 3.2. Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ

Масляные выключатели. Вакуумные выключатели. Выключатели нагрузки. Разъединители внутренней и наружной установки. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.

Тема 3.3. Измерительные трансформаторы тока и напряжения

Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Назначение, устройство, принцип работы и выбор. Схемы включения трансформаторов тока и напряжения. Классы точности трансформаторов.

РАЗДЕЛ IV. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 КВ

Тема 4.1. Трансформаторная подстанция и режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ

Схема электрических соединений трансформаторной подстанции(ТП). Выбор числа и мощности трансформаторов. Перегрузочная способность силовых трансформаторов. Выбор напряжения для цеховых сетей. Режимы нейтрали электроустановок до 1кВ.

Тема 4.2. Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ

Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ. Низковольтные распределительные устройства. Магистральные и распределительные, осветительные, троллейные шинопроводы. Марки проводов и кабелей, применяемых в сетях до 1 кВ.

РАЗДЕЛ V. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ

Тема 5.1. Принципы построения защиты электроприемников

Принципы построения защиты электроприемников электрических сетей от токов перегрузки и короткого замыкания. Расчет токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ. Выбор защитных аппаратов.

Тема 5.2. Выбор сечений проводников

Выбор и расчет проводов и кабелей. Выбор и расчет шинопроводов. Расчет троллейных линий.

РАЗДЕЛ VI. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 кВ

Тема 6.1. Источники питания электроэнергией

Источники питания электроэнергией. Главные понизительные подстанции (ГПП) и распределительные пункты (РП), назначение и конструктивное выполнение ГПП и РП.

Тема 6.2. Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ

Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ. Сеть с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.

Тема 6.3. Схемы внутризаводского электроснабжения

Схемы внутризаводского электроснабжения. Схемы глубокого ввода. Выбор сечений проводников систем электроснабжения. Марки кабелей напряжением 6-10 кВ. Способы прокладки кабелей.

РАЗДЕЛ VII. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Тема 7.1. Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах

Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах. Базисная мощность, ток и напряжение. Определение сопротивления отдельных элементов. Результирующее и расчетное сопротивление.

РАЗДЕЛ VIII. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Тема 8.1. Потребители реактивной мощности

Потребители реактивной мощности. Снижение потерь мощности и напряжения в системе электроснабжения при компенсации реактивной мощности. Источники реактивной мощности: синхронные генераторы, двигатели, и компенсаторы, статические источники реактивной мощности.

Тема 8.2. Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ

Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ. Схемы включения конденсаторных установок. Индивидуальная, групповая и централизованная компенсация.

РАЗДЕЛ IX. УЧЕТ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

9.1. Учет электроэнергии и пути её экономии

Расчетный и технический учет электроэнергии. Приборы и системы учета электропотребления. Расчет потерь мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения. Основные пути экономии электроэнергии в промышленности.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
очная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	Семинарские	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	5 семестр							
1.	Введение							
1.1	Цели и задачи дисциплины	2						
2.	Потребители электрической энергии							
2.1	Приемники и потребители электроэнергии	2			2			
2.2	Определение электрических нагрузок	2	2					Контрольная работа
3.	Электрические аппараты управления и защиты							
3.1.	Электрические аппараты напряжением до 1 кВ	2	2		4			Контрольная работа

1	2	3	4		5	6	7	10
3.2.	Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ	2	1					
3.3.	Измерительные трансформаторы тока и напряжения	2	1					
4.	Распределение электроэнергии на напряжении до 1 кВ							
4.1.	Трансформаторная подстанция и режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ	2			2			
4.2.	Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ	2						Контрольная работа
5.	Выбор защитных аппаратов и сечений проводов и кабелей цеховых сетей							
5.1.	Принципы построения защиты электроприемников	2						
5.2.	Выбор сечений проводников	2	2		2			
6.	Распределение электроэнергии на напряжении выше 1 кВ							
6.1.	Источники питания электроэнергией	2			2			
6.2.	Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ	2						
6.3.	Схемы внутризаводского электроснабжения	2	2		2			
7.	Расчет токов короткого замыкания в сетях напряжением выше 1 кВ							
7.1.	Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах	2	2					Контрольная работа

1	2	3	4		5	6	7	10
8.	Компенсация реактивной мощности							
8.1.	Потребители реактивной мощности	2			2			
8.2.	Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ	2	2					
9.	Учет и экономия электроэнергии							
9.1	Учет электроэнергии и пути её экономии	2	2					
	Итого за семестр	48	16		16			Зачет, экзамен
	ВСЕГО	80						

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
заочная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	Семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	11 семестр							
1.	Введение							
1.1	Цели и задачи дисциплины	0,5						
2.	Потребители электрической энергии							
2.1	Приемники и потребители электроэнергии	1						
2.2	Определение электрических нагрузок	1	2		2			Контрольная работа
3.	Электрические аппараты управления и защиты							
3.1.	Электрические аппараты напряжением до 1 кВ	1	2		2			Контрольная работа

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.2.	Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ	0,5						
3.3.	Измерительные трансформаторы тока и напряжения	0,5						
4.	Распределение электроэнергии на напряжении до 1 кВ							
4.1.	Трансформаторная подстанция и режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ	0,5						
4.2.	Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ	0,5			2			Контрольная работа
5.	Выбор защитных аппаратов и сечений проводов и кабелей цеховых сетей							
5.1.	Принципы построения защиты электроприемников	0,5						
5.2.	Выбор сечений проводников	1	1					
6.	Распределение электроэнергии на напряжении выше 1 кВ							
6.1.	Источники питания электроэнергией	0,5						
6.2.	Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ	0,5						
6.3.	Схемы внутриводского электроснабжения	0,5						
7.	Расчет токов короткого замыкания в сетях напряжением выше 1 кВ							
7.1.	Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах	0,5	1					Контрольная работа

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8.	Компенсация реактивной мощности							
8.1.	Потребители реактивной мощности	1						
8.2.	Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ	1						
9.	Учет и экономия электроэнергии							
9.1	Учет электроэнергии и пути её экономии	0,5						
	Итого за семестр	12	6		6			Зачет, экзамен
	ВСЕГО	24						

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
заочная форма (сокращённый срок обучения) получения высшего образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	Семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	7 семестр							
1.	Введение							
1.1	Цели и задачи дисциплины	0,5						
2.	Потребители электрической энергии							
2.1	Приемники и потребители электроэнергии	1						
2.2	Определение электрических нагрузок	1	1		2			Контрольная работа
3.	Электрические аппараты управления и защиты							
3.1.	Электрические аппараты напряжением до 1 кВ	1	2					Контрольная работа

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.2.	Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ	1						
3.3.	Измерительные трансформаторы тока и напряжения	0,5						
4.	Распределение электроэнергии на напряжении до 1 кВ							
4.1.	Трансформаторная подстанция и режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ	0,5						
4.2.	Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ	0,5			2			Контрольная работа
5.	Выбор защитных аппаратов и сечений проводов и кабелей цеховых сетей							
5.1.	Принципы построения защиты электроприемников	0,5						
5.2.	Выбор сечений проводников	1	1					
6.	Распределение электроэнергии на напряжении выше 1 кВ							
6.1.	Источники питания электроэнергией	0,5						
6.2.	Режимы работы электрических сетей напряжением выше 1 кВ	0,5						
6.3.	Схемы внутриводского электроснабжения	0,5						
7.	Расчет токов короткого замыкания в сетях напряжением выше 1 кВ							
7.1.	Расчет токов короткого замыкания в относительных величинах	0,5						Контрольная работа

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8.	Компенсация реактивной мощности							
8.1.	Потребители реактивной мощности	1						
8.2.	Определение мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ	1						
9.	Учет и экономия электроэнергии							
9.1	Учет электроэнергии и пути её экономии	0,5						
	Итого за семестр	12	4		4			Экзамен
	ВСЕГО				20			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 589 с.
2. Радкевич, В.Н. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск БНТУ, 2017. – 171 с.

Дополнительная литература

1. Радкевич, В.Н. Проектирование систем электроснабжения / В.Н. Радкевич. – Минск: НПООО «Пион», 2001. – 292 с.
2. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. - М.: Интермет – Инжиниринг, 2005. – 671 с.
3. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов / Е.А. Конюхова. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 320 с.
4. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения / Г.Н. Ополева. – М.: Форум- Инфа-М, 2006.– 480 с.
5. Ус, А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / А.Г. Ус, Л.И.Евминов. - Минск: НПООО «Пион», 2002.- 457 с.
6. Радкевич, В.Н. Расчет компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий. / В.Н. Радкевич.- Минск: БНТУ, 2004.- 40с.
7. Радкевич, В.Н. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий. / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова.- Минск: БНТУ, 2013.- 124с.
8. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек.– Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- проведение текущих контрольных работ (заданий) по отдельным темам;
- проверка готовности студентов к выполнению лабораторных работ;

- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам;
- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- сдача экзамена.

Перечень тем практических занятий

1. Изучение условных обозначений в электрических схемах и приобретение навыков в чтении схем электроснабжения.
2. Выбор пуско-защитных аппаратов, магнитных пускателей, тепловых реле, автоматических выключателей и предохранителей.
3. Определение электрических нагрузок электроприемников.
4. Выбор сечений проводов и кабелей по условию допустимого нагрева в сетях напряжением до 1 кВ.
5. Определение сопротивления отдельных элементов сети, результирующего и расчетного сопротивлений.
6. Расчет токов короткого замыкания в высоковольтных сетях по расчетным кривым и от системы неограниченной мощности.
7. Выбор сечений жил кабелей напряжением 6-10 кВ по экономическим соображениям, допустимому нагреву и термической стойкости.
8. Расчет потерь мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения.

Перечень тем лабораторных работ

1. Исследование магнитного пускателя.
2. Исследование автоматических воздушных выключателей.
3. Исследование низковольтных предохранителей.
4. Изучение и исследование электромагнитных реле.
5. Комплектные РУ напряжением 6-10 кВ.
6. Комплектные РУ напряжением до 1 кВ.
7. Изучение магистральных, распределительных шинопроводов и силовых шкафов.
8. Режимы нейтрали в системах электроснабжения.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. Потребители электроэнергии и их классификация.
2. Характеристики потребителей электроэнергии.
3. Что называется графиком электрических нагрузок?
4. По каким коэффициентам оценивается равномерность графика нагрузки?
5. На какие виды делятся индивидуальные графики электрических нагрузок?
6. Как подразделяются групповые графики электрических нагрузок по периодичности их реализации?
7. Методы определения расчетных электрических нагрузок.
8. Рубильники, автоматические выключатели – назначение, устройство, принцип работы. Выбор рубильника и автомата.
9. Контактторы постоянного и переменного тока. Устройство, принцип работы и схема управления, основные параметры.
10. магнитный пускатель, тепловое реле - назначение, устройство, принцип работы, выбор.
11. Предохранитель - назначение, устройство, принцип работы, выбор плавких предохранителей.
12. Масляные выключатели, вакуумные, газогенерирующие. Устройство, принцип работы, выбор.
13. Разъединители внутренней и наружной установки. Устройство, принцип работы, выбор.
14. Трансформаторы тока и напряжения. Назначение, схемы, включения, классы точности.
15. По каким схемам сооружаются внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ промышленных объектов?
16. Что представляют собой модульные электрические сети?
17. Дайте определение коэффициенту дополнительных потерь мощности.
18. От каких факторов зависит выбор схемы и конструктивного исполнения внутрицеховых электрических сетей?
19. По каким условиям выбираются сечения проводников силовых электрических сетей?
20. Как обеспечивается избирательность защиты в электроустановках напряжением до 1 кВ?
21. Как строится карта селективности защиты?
22. Для чего осуществляется компенсация реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий?
23. Какие средства для компенсации реактивной мощности применяются на промышленных предприятиях?
24. Почему номинальная мощность силовых распределительных трансформаторов выбирается по активной нагрузке?
25. Какие трансформаторные подстанции применяются на промышленных предприятиях?
26. Из каких структурных частей состоит трансформаторная подстанция?

27. Какие схемы распределения электроэнергии на напряжении 6-10кВ наиболее предпочтительны на производственных объектах?
28. Для чего предусматриваются связи на напряжении до 1кВ между цеховыми ТП?
29. Когда допускается глухое присоединение кабельной линии напряжением 6-10 кВ к силовому трансформатору?
30. Как выбираются места расположения трансформаторных подстанций на промышленных предприятиях?
31. По каким условиям выбирается сечение жил кабелей напряжением 6-10 кВ?
32. Сколько подстанций можно подключать к магистральной линии глубокого ввода?
33. В каких случаях допускается применять напряжение 6 кВ для распределительной сети производственного объекта?
34. В каких случаях в системах электроснабжения промышленных предприятий применяются токопроводы напряжением 6-35 кВ?
35. Как осуществляется регулирование напряжения в электрических сетях промышленных предприятий при резко переменных нагрузках?
36. Что такое добавка напряжения?
37. Для каких потребителей применяются двухставочные тарифы на электроэнергию?
38. Перечислите способы снижения потерь электроэнергии в линиях электропередачи и силовых трансформаторах.
39. Способы выравнивания графиков электрических нагрузок.
40. Выбор мест размещения и схем присоединения конденсаторных установок напряжением до 1 кВ.
41. Выбор трансформаторов для питания промышленных потребителей электроэнергии.
42. Оценка целесообразности применения синхронных электродвигателей для компенсации реактивной мощности..
43. Выбор и расчет токопроводов напряжением 6-10 кВ.
44. Влияние неравномерности режимов электропотребления на потери электроэнергии в электрических сетях.
45. Мероприятия по экономии электроэнергии в системах электроснабжения.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя.

Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, творческого подхода, реализуемые на практических занятиях (или лабораторных работах) и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты и другие формы и методы), реализуемые на практических занятиях и конференциях.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название дисциплины (с которой требуется согласование)	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Экология промышленных теплотехнологий	Промышленная теплоэнергетика и теплотехника	Замечаний нет	
2. Энергетический аудит и управление энергопотреблением	Промышленная теплоэнергетика и теплотехника	Замечаний нет	