

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»


СОГЛАСОВАНО

СОГЛАСОВАНО

Заведующая кафедрой «Электроснаб-
жение»

Декан энергетического факультета


В.Б. Козловская
2021 г.


Е.Г. Пономаренко
2021 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ»
для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических
процессов и производств (по направлениям)»**

Составитель: Калечиц В.Н.

Рассмотрен и утвержден на заседании совета энергетического факультета
28.06.2021 г. Протокол №11

Минск 2021

Содержание ЭУМК

| | | |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | <u>Теоретический раздел</u> | 5 |
| 1 | Краткий конспект лекций по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» | |
| | <u>Практический раздел</u> | 58 |
| 2 | Темы практических, лабораторных занятий | |
| | <u>Раздел контроля знаний</u> | 61 |
| 3 | Вопросы к экзамену по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» | |
| | <u>Вспомогательный раздел</u> | 67 |
| 4 | Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» | |

Пояснительная записка

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» составлен на основе образовательного стандарта ОСВО 1-53 01 01-2019 для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» в соответствии со статьей 94 Кодекса Республики Беларусь об образовании, которые определяют структуру учебно-методического комплекса, порядок его создания на уровне высшего образования в учреждениях высшего образования.

Цели ЭУМК - 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.

ЭУМК по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» 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.

ЭУМК включает разделы: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный:

1. Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины в объеме, установленном учебным планом по специальности.
2. Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения практических занятий, лабораторных работ.

3. Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы итоговой аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

4. Вспомогательный раздел ЭУМК содержит учебную программу, перечень учебных изданий и информационно-аналитических материалов, рекомендуемых для изучения учебной дисциплины.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

- студентам выдается практически весь материал;
- по мере поступления новых материалов ЭУМК может быть доукомплектован в рабочем порядке после установленных правилами согласований.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ
электронного учебно-методического комплекса
по дисциплине «**Электроснабжение промышленных предприятий и
гражданских зданий**»
для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процес-
сов и производств (по направлениям)»

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»

**КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских
зданий»**

для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических про-
цессов и производств (по направлениям)»

Составитель: Калечиц В.Н.

2021

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ПЕРЕДАЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ | 8 |
| 2 ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ГРАФИКИ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ | 12 |
| 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ | 21 |
| 4 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ | 25 |
| 5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ | 34 |
| 6 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 кВ | 36 |
| 7 ПИТАЮЩИЕ ПОДСТАНЦИИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ | 45 |
| 8 РЕЖИМЫ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ | 51 |
| 9 РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ | 53 |

1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ПЕРЕДАЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

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.

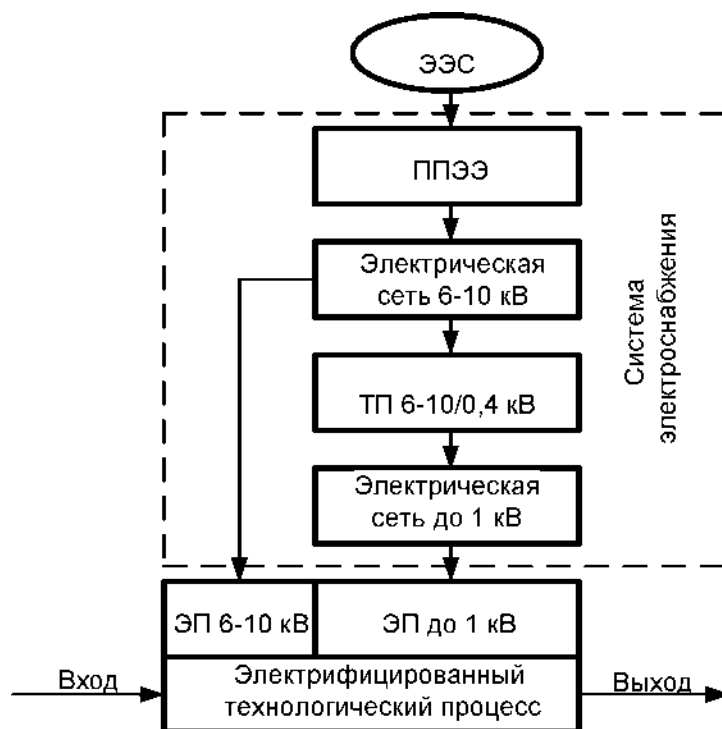


Рисунок 1.1. Обобщенная структура СЭС производственного объекта при питании от электроэнергетической системы [1]: ППЭЭ – пункт приема электрической энергии; ЭП – электроприемники; ТП – трансформаторная подстанция

Важнейшими элементами СЭС промышленных предприятий являются трансформаторные подстанции, которые делятся на следующие виды:

-узловые распределительные подстанции (УРП) с высшим напряжением 110-750 кВ;

-главные понизительные подстанции (ГПП) напряжением (110-220)/(6-10) кВ;

-подстанции глубокого ввода (ПГВ) напряжением (110-220)/(6-10) кВ;
-цеховые трансформаторные подстанции (ТП) напряжением (6-10)/(0,4-0,69) кВ.

По сравнению с ГПП УРП имеют большую мощность трансформаторов и распределяют получаемую электроэнергию с помощью линий электропередачи напряжением 110-220 кВ между ПГВ промышленного предприятия.

К системам электроснабжения предъявляются определенные требования [1].

1. Экономичность – СЭС должна иметь минимальные затраты на сооружение, монтаж и эксплуатацию при обеспечении других требований: надежности, безопасности и др.

2. Надежность – степень бесперебойности электроснабжения электроприемников предприятия должна соответствовать установленным нормативам. При этом необходимо учитывать ситуации, которые могут возникнуть в аномальных режимах.

3. Безопасность – системы электроснабжения и все их элементы, включая электроприемники, должны быть построены и выполнены таким образом, чтобы они не создавали опасности для жизни и здоровья людей, использующих электроэнергию в своей жизнедеятельности или находящихся в непосредственной близости от электроустановок.

4. Экологичность – при выполнении строительного-монтажных и ремонтно-восстановительных работ, а также в различных режимах эксплуатации СЭС и их оборудование не должны оказывать неблагоприятных воздействий на окружающую среду.

5. Удобство эксплуатации и управления – в процессе эксплуатации такие свойства СЭС, как экономичность, надежность, безопасность и др., поддерживаются путем обслуживания, ремонтов, модернизации, управления режимами электроснабжения и электропотребления. Системы электроснабжения должны быть приспособлены к выполнению указанных работ.

6. Обеспечение электромагнитной совместимости – все элементы СЭС и электроприемники электрифицированного производственного процесса не должны оказывать друг на друга вредных воздействий, которые могли бы привести к нарушению их нормального функционирования или к значительному ухудшению их технико-экономических показателей. Система электроснабжения должна обеспечивать надлежащее качество напряжения, подводимого к зажимам электроприемников.

7. Гибкость – при изменении технологического процесса в цехах промышленных предприятий возможна перестановка действующего или ввод нового технологического оборудования. Это не должно вызывать серьезных переделок электрических сетей напряжением до 1 кВ, конструкции которых должны быть приспособлены к быстрому перестроению без существенных трудозатрат

и капитальных вложений.

8. Возможность развития во времени – должна быть предусмотрена возможность расширения электроустановок СЭС при развитии производственного объекта и роста его производственной мощности.

9. Эстетичность – при проектировании и сооружении СЭС следует учитывать требования технической эстетики. Системы электроснабжения и их элементы должны хорошо сочетаться с архитектурным обликом зданий и сооружений, а применяемое электрооборудование вписываться в интерьер производственных помещений [1].

Надежность и эффективность систем электроснабжения в значительной степени зависят от выбранного режима нейтрали электрических сетей разных напряжений (рисунок 1.2).

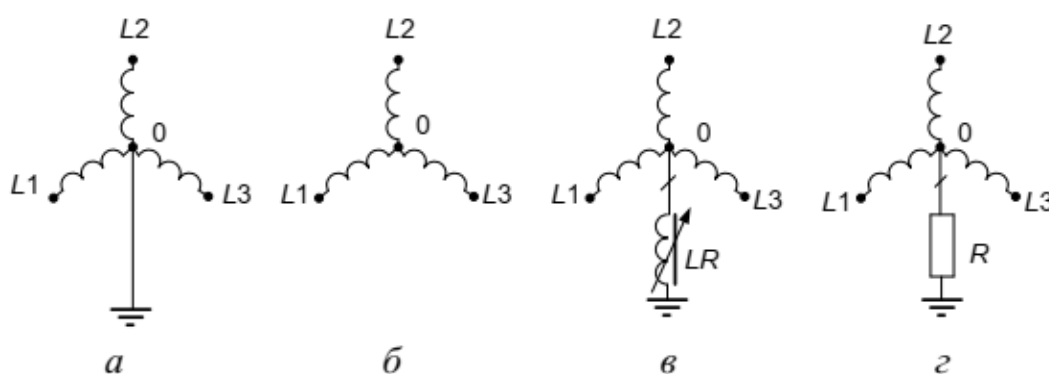


Рисунок 1.2. Нейтрали трехфазных электроустановок:

а- глухозаземленная и эффективно заземленная; *б* - изолированная; *в* - заземленная через дугогасящий реактор LR ; *г* - заземленная через резистор R

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

- напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью (рисунок 1.2,а);
- напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной (рисунок 1.2,б), заземленной через дугогасящий реактор (рисунок 1.2,в) или резистор (рисунок 1.2-г) нейтралью;
- напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью [1].

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо учитывать особенности.

Электроэнергия на промышленных предприятиях рассматривается как один из компонентов производственного процесса. Электроэнергия потребляется на разных напряжениях в виде переменного трехфазного и однофазного тока промышленной, пониженной, повышенной или высокой частоты, а также в виде постоянного тока. В непосредственной близости от электрооборудования

находится определенное количество производственного персонала, не имеющего электротехнического образования.

Промышленные электроприемники отличаются большим разнообразием.

В СЭС промышленных объектов используются специальные автоматические устройства. Плотность нагрузки разных потребителей электроэнергии значительно различается, что приводит к большому разнообразию схемных и конструктивных решений в СЭС. Промышленные электроприемники переменного тока, наряду с активной мощностью, как правило, потребляют значительное количество реактивной мощности. На промышленных предприятиях имеются электроприемники с нелинейными вольтамперными характеристиками. Необходимо обеспечивать совместимость электрооборудования с окружающей средой. На промышленных предприятиях электроэнергия потребляется в основном на напряжении до 1 кВ. Промышленные предприятия могут иметь собственные электростанции. Система электроснабжения является подсистемой технологической системы производства конкретного предприятия и одновременно является подсистемой энергосистемы [1].

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

2 ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ГРАФИКИ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

2.1 Приемники и потребители электроэнергии, их классификация

Электроприемник – это аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии. Потребителем электрической энергии называется электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории. Потребителями электроэнергии являются предприятия, организации, учреждения, территориально обособленные цеха и т.п., присоединенные к электрическим сетям энергоснабжающей организации и использующие электроэнергию с помощью электроприемников.

В зависимости от выполняемых функций, режимов и особенностей электроснабжения потребители электроэнергии делятся на следующие основные группы:

- промышленные и приравненные к ним потребители;
- производственные сельскохозяйственные потребители (колхозы, совхозы, фермы, лесхозы, рыбхозы и т.п.);
- обобщественно-коммунальные потребители (непромышленные), к которым относятся государственные учреждения, детские сады, учебные заведения, вокзалы, кинотеатры и т.д.;
- бытовые потребители (квартиры, дома, дачи и т.п.);
- оптовые потребители-перепродавцы [1].

В Республике Беларусь около 60% от общего объема потребляемой электроэнергии приходится на промышленные предприятия, остальная электроэнергия распределяется между потребителями примерно следующим образом: непромышленные потребители - около 10%, сельскохозяйственные потребители - около 6%, население - 20%, железнодорожный и городской транспорт - 4% [2].

Потребитель электроэнергии представляет собой совокупность электроприемников, расположенных на определенной территории и объединенных единством технологического процесса. Потребитель электроэнергии является весьма обобщенным понятием. В зависимости от поставленной задачи при организации электрифицированного производства потребителем могут быть отдельный крупный электроприемник, технологическая установка, участок цеха, цех, производственный корпус, предприятие в целом. При организации электрифицированного быта людей потребителем электроэнергии являются квартира, подъезд, дом, микрорайон, город и т. д.

Производственные механизмы и установки могут существенно различаться по количеству и виду применяемых в них электроприемников. В некоторых из них, например, в простейших металлообрабатывающих станках, насосах, вентиляторах и др., используется только один электродвигатель. В то же время дуговая сталеплавильная печь, являющаяся крупным потребителем электроэнергии, содержит несколько электроприемников: плавильный агрегат, приводы наклона и поворота ванны, подъема и отворота свода, источник оперативного тока для цепей управления, защиты и блокировки и т. д.

К характерным промышленным электроприемникам (ЭП) относятся [1]:

- электродвигатели производственных механизмов;
- силовые общепромышленные установки;
- насосы, компрессоры, вентиляторы;
- подъемно-транспортные установки (краны, кран-балки, тельферы, подъемники, лифты и т. п.) и поточно-транспортные системы (конвейеры, транспортеры и т.п.);
- преобразовательные установки (выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и др.);
- световые приборы;
- электротехнологические установки;
- электротермические установки (печи сопротивления, дуговые плавильные печи, индукционные печи и установки нагрева, лазерные, плазменные, диэлектрического нагрева и т. п.);
- электросварочные установки (электрошлаковой, дуговой, контактной, лазерной, плазменной, высокочастотной и электронно-лучевой сварки);
- электрохимические установки (электролизные, гальванотехники, электрохимической обработки);
- электрофизические установки (ультразвуковые, электроэрозионные, магнитоимпульсные и т. п.);
- электронно-ионной технологии [1].

Указанные группы электроприемников характеризуются установленной мощностью, режимом работы, степенью надежности электроснабжения и другими показателями, которые необходимо учитывать при разработке схем их электроснабжения.

По величине напряжения различают приемники и потребители электроэнергии напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ.

По количеству фаз различают одно- и трехфазные электроприемники.

Режим работы по нагреву при расчете электрооборудования и электроснабжения у электроприемников принимается продолжительным (S1), кратковременным (S2) или повторно-кратковременным (S3):

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.

По частоте тока могут быть электроприемники промышленной (50 Гц), пониженной (менее 50 Гц), повышенной средней (до 30 кГц) и высокой (более 30 кГц) частоты. Электроприемники, предназначенные для работы с частотой, отличающейся от 50 Гц, питаются от преобразователей. Преобразователи частоты являются электроприемниками трехфазного переменного тока.

По надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории (ПУЭ).

По характеру преобразования электроэнергии электроприемники подразделяют на электроприводы, электротехнологические установки, осветительные и облучательные установки, цифровые технические системы.

По стабильности расположения на производственной площади различают электроприемники с относительно постоянным (например, насосы, вентиляторы, компрессоры, электротехнологические установки и т. п.) и нестабильным расположением оборудования. Нестабильное расположение оборудования характерно для основных производств, имеющих большую динамичность технологического процесса [1].

2.2 Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников

Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников и потребителей электроэнергии: использования, включения, загрузки, максимума и спроса.

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 представляет собой отношение средней потребляемой мощности электроприемника или группы электроприемников за некоторый период к их номинальной мощности.

В ходе работы силовых электроприемников в соответствии с технологическим регламентом изменяется их электропотребление. Электроприемники в производственном процессе имеют периоды остановок (пауз), необходимых для загрузки и выгрузки производственных установок, обеспечения требуемых технологических параметров (температура, давление и т. д.), изме-

нения технологической оснастки, приема пищи и отдыха рабочих.

При включении электроприемников существуют периоды холостого хода и работы. В процессе работы за технологический цикл потребляемая мощность приемника электроэнергии может существенно изменяться, периодически повышаясь и снижаясь. Электродвигатели производственных механизмов выбираются так, чтобы их номинальная мощность была несколько больше ожидаемой механической нагрузки на валу. Чем длительнее паузы, тем меньше коэффициент использования за рассматриваемый период. Следовательно, коэффициент использования за сутки меньше, чем за рабочую смену, а среднегодовой – меньше, чем за рабочие сутки.

Для группы электроприемников, имеющих один и тот же режим работы, групповой коэффициент использования $K_{г}$ принимается таким же, как и для единичного электроприемника $K_{и}$ данной группы.

Коэффициент включения – это отношение времени включения электроприемника в течение цикла к длительности цикла.

Коэффициент загрузки представляет собой отношение средней мощности электроприемника за время включения $P_{св}$ в течение цикла к его номинальной мощности.

Коэффициент максимума представляет собой отношение максимальной нагрузки к средней за рассматриваемый период. Он связывает максимальную потребляемую мощность и среднюю нагрузку группы электроприемников. Для отдельных электроприемников этот коэффициент, как правило, не применяется.

Коэффициент спроса – это отношение максимальной потребляемой активной мощности (в условиях эксплуатации электрооборудования) или расчетной нагрузки (при проектировании электроустановок) к номинальной мощности группы электроприемников.

Коэффициент реактивной мощности представляет собой отношение реактивной мощности к активной.

Коэффициент одновременности максимумов активных нагрузок называется отношением суммарного расчетного максимума активной мощности P_p узла системы электроснабжения к сумме расчетных максимумов активных мощностей отдельных групп электроприемников, входящих в данный узел СЭС. Данный коэффициент характеризует смещение максимума нагрузок во времени отдельных групп электроприемников, формирующих общую нагрузку элемента СЭС. Это смещение вызывает снижение суммарного максимума нагрузок узла по сравнению с суммой максимумов нагрузок отдельных групп. Значение $K_o < 1$. В разных литературных источниках могут встречаться и другие названия данного коэффициента: коэффициент разновременности, несовпадения максимумов, участия в максимуме [1].

2.3 Графики электрических нагрузок

Кривые, отражающие изменение во времени активной (P) и реактивной (Q) мощности и тока (I) называются графиками нагрузок по активной мощности (рисунок 2.1), 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 (рисунки 2.1, 2.2).

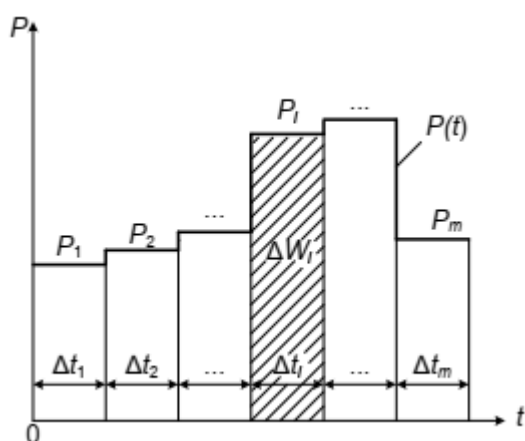


Рисунок 2.1. График активной мощности в виде ступенчатой функции [1]

Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок. График электрической нагрузки по активной мощности (рисунок 2.2) в определенном масштабе отражает расход электроэнергии W за некоторый период реализации T .

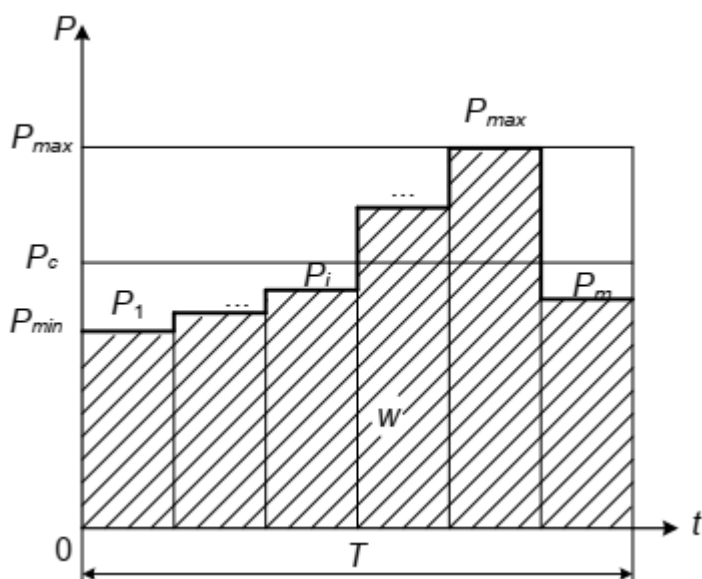


Рисунок 2.2. График электрической нагрузки по активной мощности (площадь

заштрихованной части есть расход электроэнергии W) [1]

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

Индивидуальные графики используются при определении нагрузок и исследовании электропотребления отдельных мощных электроприемников. Они строятся для каждого законченного цикла для наиболее загруженной смены.

В качестве примера на рисунке 2.3 приведен периодический индивидуальный график нагрузки.

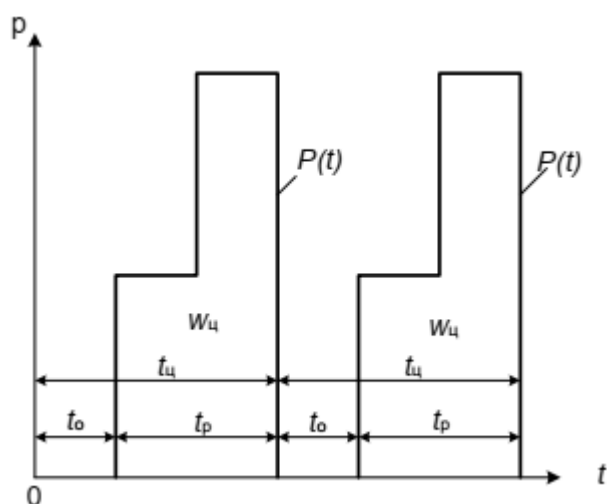


Рисунок 2.3. Периодический индивидуальный график [1]

Индивидуальные графики нагрузок по степени регулярности делятся на следующие виды:

- периодические;
- циклические;
- нециклические;
- нерегулярные [1].

Представление о стабильности индивидуальных графиков дают некоторые их показатели, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1- Показатели индивидуальных графиков

| Тип | t_p | t_o | $t_{ц}$ | $w_{ц}$ |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 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 регламен-

тированы.

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 (рисунок 2.4) и годовые (рисунок 2.5) графики нагрузок потребителей электроэнергии.

Суточные графики действующих предприятий отражают изменение нагрузки потребителя в течение суток, начиная с 0 до 24 ч (рисунок 2.4).

По годовому упорядоченному графику (рисунок 2.6) можно определить годовой расход электроэнергии W_T , среднегодовую мощность $P_{ст}$, длительность каждой нагрузки и годовое время использования максимальной нагрузки T_{max} .

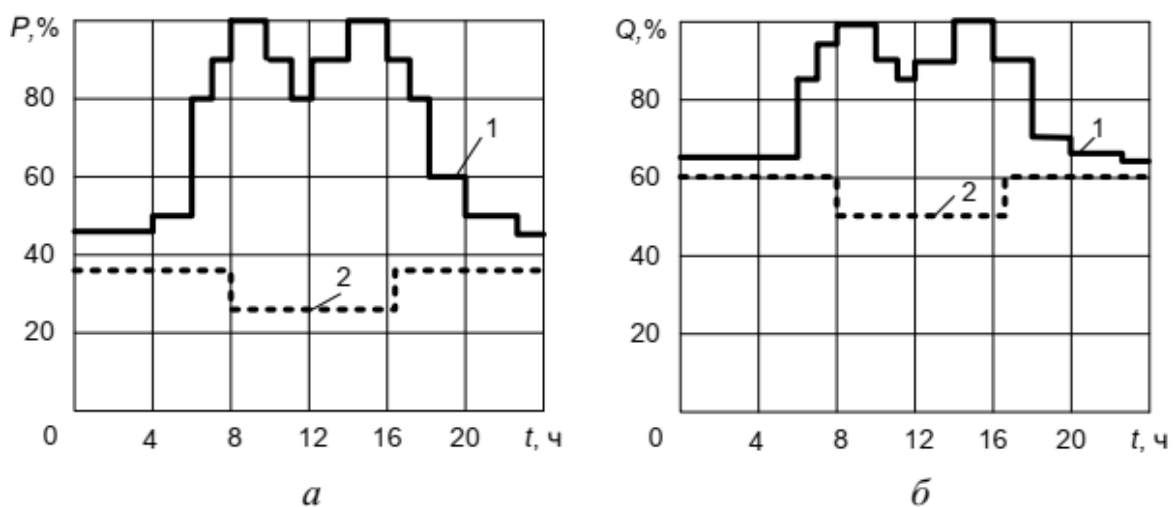


Рисунок 2.4. Суточные графики нагрузки по активной (а) и реактивной (б) мощности двухсменного промышленного предприятия: 1 – нагрузка в рабочие сутки; 2 – нагрузка в выходные сутки [1]

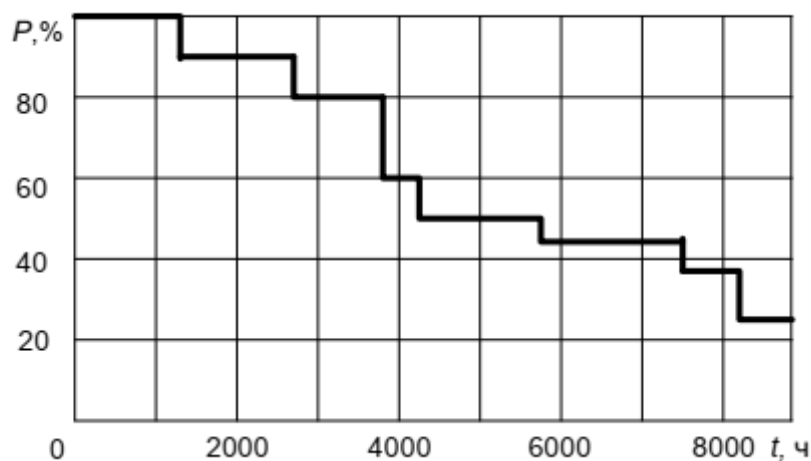


Рисунок 2.5. Годовой график нагрузки по продолжительности

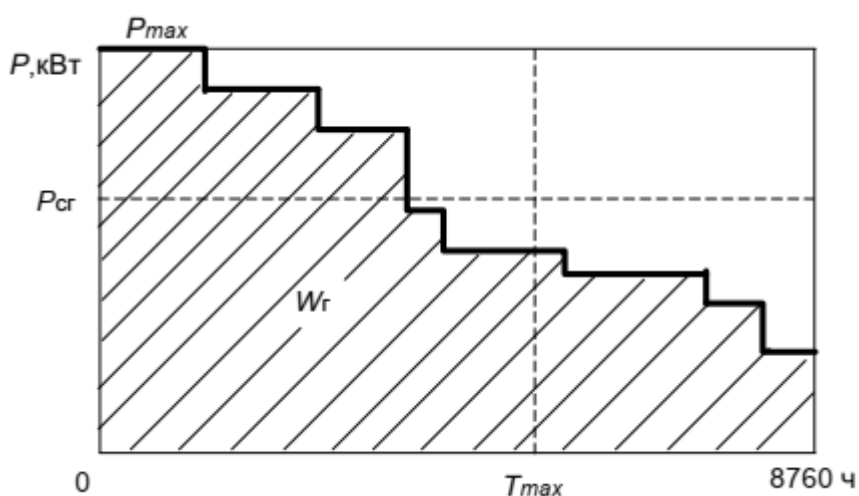


Рисунок 2.6. Определение времени использования максимума нагрузки по годовому графику по продолжительности [1]

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:

- изменение графика работы тех электроприемников, которые без значительного ущерба можно перевести на работу вне часов максимальных нагрузок энергосистемы;
- 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;
- широкое применение заделов производства, запасов материалов и промежуточной продукции;

- увеличение производительности некоторых технологических агрегатов, работа их в форсированном режиме вне часов максимума нагрузки энергосистемы;
- временное ограничение производительности части производственного оборудования в период больших нагрузок энергосистемы;
- отключение вспомогательного оборудования и проведение профилактического технического обслуживания в часы максимума энергосистемы;
- изменение режима работы энергоемких агрегатов в течение суток;
- поочередная загрузка, пуск и остановка однотипных энергоемких агрегатов в часы максимума нагрузки энергосистемы;
- выполнение капитальных и средних ремонтов основного производственного оборудования предприятия в зимний период;
- смещение времени начала и перерывов в работе отдельных структурных подразделений предприятия [1].

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

3.1 Основные понятия и определения

Основные понятия и определения: установленная мощность, средние, среднеквадратические, максимальные и расчетные электрические нагрузки. Пиковые нагрузки. Уровни определения расчётных электрических нагрузок.

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

Для представления электрических величин и коэффициентов, характеризующих электропотребление, принята следующая система обозначений: показатели электропотребления индивидуальных ЭП обозначаются строчными буквами, а групп электроприемников – прописными буквами латинского или греческого алфавита.

Номинальная (установленная) мощность одного ЭП – мощность, обозначенная на заводской табличке или указанная в его паспорте. Под номинальной мощностью электродвигателя понимается мощность, развиваемая на валу двигателя при номинальном напряжении, для остальных ЭП – потребляемая из сети при номинальном напряжении. Отметим, что применительно к агрегату с многодвигательным приводом под номинальной мощностью подразумевают наибольшую сумму номинальных мощностей одновременно работающих двигателей. Номинальная мощность плавильных печей и сварочных установок равна мощности питающих их трансформаторов. Для двигателей-генераторов и преобразователей в качестве номинальной принимается их мощность на вторичной стороне.

Средняя мощность является основной статистической характеристикой изменяющейся случайной величины электрической нагрузки.

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 режима СЭС.

Расчетные активная P_p , реактивная Q_p и полная S_p мощности – 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. При этом тепловое воздействие выражается в виде максимальной температуры нагрева или максимального теплового износа изоляции.

Вероятность превышения фактической нагрузкой расчетного значения,

как правило, не более 0,05 на интервале осреднения, длительность которого принята равной трем постоянным времени нагрева элемента системы электропитания, через который передается ток нагрузки (кабель, провод, шинопровод, трансформатор и т. д.).

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 толчкообразной и переменной нагрузками. В проектной практике, как правило, определяются пиковые токи, по которым производятся расчеты колебаний напряжения, потерь напряжения в контактных сетях, токов срабатывания защитных аппаратов, а также выбираются плавкие вставки предохранителей [1].

3.2 Методы определения расчетных электрических нагрузок

Методы определения нагрузок электроприемников: по коэффициенту расчетных нагрузок, по коэффициенту спроса и установленной мощности, по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции, по удельной нагрузке на единицу производственной площади. Статистический метод определения расчетных нагрузок.

Электрическая нагрузка представляет собой мощность, потребляемую электроприемниками или передаваемую по элементам системы электропитания в определенный момент времени. Для электроприемников она обусловлена электроэнергией, потребляемой из сети и преобразуемой в другие виды энергии. Нагрузка линий электропередачи, силовых трансформаторов и других элементов электрической сети СЭС вызвана передачей электроэнергии от источников питания к ЭП. При этом электрическая нагрузка в каждый момент времени определяется мощностью некоторого количества включенных в работу ЭП, присоединенных к электрическим сетям разных напряжений.

Электрическая нагрузка электроприемника, потребителя или элемента системы электропитания может быть представлена в виде активной, реактивной и полной мощности, а также в виде тока. В зависимости от решаемой задачи используется тот или иной вид нагрузки. Расчетная нагрузка является одним из основных показателей, учитываемых при выборе электрооборудования и средств компенсации реактивной мощности, определении условий присоединения электроустановок потребителей к энергосистеме, решении других проектных и эксплуатационных задач электропитания. Выбор всех элементов СЭС и определение параметров режима работы электрических сетей производится на основе расчетных электрических нагрузок. От величин нагрузок зависят

применяемые схемы и конструктивное исполнение сетей, а также расположение сетевых объектов.

Электрические нагрузки должны определяться на всех стадиях проектирования СЭС: разработке задания на проектирование, архитектурного и строительного проектов.

На стадии составления задания на проектирование определяется результирующая электрическая нагрузка предприятия для решения вопросов присоединения его к сетям энергосистемы. На этом этапе проектирования исходные данные по номинальным мощностям отдельных электроприемников, как правило, отсутствуют. В этом случае ожидаемая электрическая нагрузка принимается по фактическому электропотреблению предприятия-аналога или рассчитывается по достоверному значению коэффициента спроса при наличии данных о суммарной установленной мощности электроприемников. Точность определения ожидаемой электрической нагрузки зависит в значительной степени от полноты имеющейся статистической информации по электропотреблению действующих промышленных предприятий разного назначения. Однако эта информация во многих случаях недостаточно достоверна или вообще отсутствует, что затрудняет определение значения ожидаемой электрической нагрузки с необходимой точностью. С учетом этого важнейшей задачей проектных организаций является создание автоматизированного банка данных по электропотреблению предприятий различных отраслей промышленности.

Определение электрических нагрузок на стадии разработки строительного проекта следует вести по коэффициенту расчетной мощности.

Исходными данными для расчета являются таблицы задания, полученные от технологов, сантехников и других специалистов смежных подразделений, в которых указываются данные электроприемников.

Во всех случаях, если это возможно, расчетная нагрузка должна определяться на основании паспортных данных технологических машин и оборудования с учетом реально ожидаемой технологической схемы работы, производительности установки и нагрузок отдельных механизмов. При отсутствии такой информации применяются расчетные коэффициенты, выявленные на действующих установках, подобных проектируемым.

При проектировании электроснабжения промышленных предприятий электрическая нагрузка силовых электроприемников на всех уровнях СЭС определяется с помощью коэффициента расчетной мощности. Приблизительно нагрузка может быть найдена также по коэффициенту спроса и установленной мощности, удельному расходу электроэнергии на единицу выпускаемой продукции и по удельной нагрузке на единицу производственной площади [1, 2, 3].

3.3 Определение расхода электроэнергии

Годовой расход активной электроэнергии цеха, корпуса или предприятия в целом в общем случае может быть представлен в виде выражения

$$W_{\Gamma} = W_{\Gamma c} + W_{\Gamma o} + \Delta W, \quad (3.1)$$

где $W_{\Gamma c}$ - годовой расход активной энергии силовыми электроприемниками, кВт·ч;

$W_{\Gamma o}$ - годовой расход электроэнергии на освещение, кВт·ч;

ΔW - суммарные потери электроэнергии в электрических сетях СЭС, которые определяются как

$$\Delta W = \Delta W_{\Gamma} + \Delta W_{\Gamma l} + \Delta W_{\Gamma ch}, \quad (3.2)$$

где ΔW_{Γ} , $\Delta W_{\Gamma l}$, $\Delta W_{\Gamma ch}$ - соответственно годовые потери активной энергии в силовых трансформаторах, высоковольтных линиях электропередачи и токопроводах, электрических сетях напряжением до 1 кВ, кВт·ч.

Годовой расход реактивной энергии в системе электроснабжения производственного объекта

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma c} + V_{\Gamma o} + \Delta V, \quad (3.3)$$

где $V_{\Gamma c}$ - годовой расход реактивной энергии силовыми электроприемниками, квар·ч;

$V_{\Gamma o}$ - то же, световыми приборами, квар·ч;

ΔV - суммарные годовые потери реактивной энергии в электрических сетях СЭС:

$$\Delta V = \Delta V_{\Gamma} + \Delta V_{\Gamma l}, \quad (3.4)$$

где ΔV_{Γ} - годовые потери реактивной энергии в силовых трансформаторах, квар·ч;

$\Delta V_{\Gamma l}$ - потери реактивной энергии за год в токопроводах и линиях электропередачи напряжением выше 1 кВ, квар·ч [1].

4 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ . ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

4.1 Коммутационные и защитные аппараты напряжением до 1 кВ

Исходными данными при расчете электрооборудования являются их технические характеристики и электрические нагрузки элементов электрических сетей. Электрические аппараты выбираются по следующим показателям:

- функциональному назначению;
- номинальному напряжению;
- номинальному току;
- номинальной мощности;
- частоте тока;
- коммутационной износостойкости;
- предельной отключающей способности;
- исполнению защиты от воздействия окружающей среды;
- климатическому исполнению [2].

По функциональному назначению электрические аппараты выбираются при разработке схем электрических сетей электроустановок, в процессе которой с учетом соответствующих условий и требований нормативно-технических документов предусматриваются необходимые коммутационные и защитные аппараты.

Магнитные пускатели и контакторы должны выбираться по следующим основным техническим параметрам:

- назначению и области применения;
- роду тока, количеству и исполнению главных и вспомогательных контактов;
- номинальному напряжению и току главной цепи;
- категории применения;
- режиму работы;
- климатическому исполнению и категории размещения;
- механической и коммутационной износостойкости;
- номинальному напряжению и потребляемой мощности включающих катушек.

Выбор плавкого предохранителя сводится к определению его типа и номинального тока плавкой вставки. Значение номинального тока плавких вставок предохранителей, защищающих от тока КЗ электродвигатели и питающие их линии, определяется по величине длительного расчетного тока [2].

При выборе автоматических выключателей необходимо учитывать их основные технические характеристики:

- номинальное напряжение;
- номинальный ток выключателя;
- номинальный ток теплового расцепителя;
- уставка срабатывания (ток срабатывания) электромагнитного расцепителя при токе КЗ, которая указывается в виде абсолютного числа (А) или кратности тока отсечки по отношению к номинальному току теплового расцепителя K_{mo} ;
- предельная отключающая способность (предельно допустимое значение отключаемого тока КЗ);
- защитная (время-токовая) характеристика, отражающая зависимость времени срабатывания выключателя t от кратности тока нагрузки I по отношению к номинальному току расцепителя [2].

4.2 Принципы построения защиты электроприемников

Электрические сети следует защищать от сверхтоков, под которыми понимаются токи КЗ и длительной перегрузки. От токов длительной перегрузки необходимо защищать следующие электрические сети внутри помещений:

- сети, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных зонах;
- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях - только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;
- сети всех видов во взрывоопасных зонах классов В-I, В4а, В-II и В- Па.

В качестве аппаратов защиты силовых электрических сетей промышленных предприятий от сверхтоков следует широко использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели.

Выбор плавких предохранителей. Основным элементом предохранителя является плавкая вставка, рассчитанная на определенный номинальный ток I_{θ} .

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

Выбор автоматических выключателей. Автоматические выключатели обеспечивают защиту от сверхтоков, а также оперативное включение и от-

ключение электрических цепей при токе нагрузки, не превышающем номинальное значение.

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

Автоматические выключатели могут быть с нерегулируемыми и регулируемыми расцепителями [1, 2].

4.3 Режимы нейтрали электроустановок напряжением до 1 кВ

Глухозаземленная и изолированная нейтрали. Системы заземления *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT*, *IT*. Достоинства и недостатки систем заземления. Области применения.

Режим нейтрали электрической сети напряжением до 1 кВ отражает состояние нейтральных точек обмоток вторичного напряжения силовых трансформаторов напряжением (6—10)/0,4кВ, 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 глухозаземленной 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 (ТКП 339-2011):

1) 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:

- ♦ $TN-C$, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике PEN на всем ее протяжении;

- ♦ $TN-S$, в которой нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводники разделены на всем ее протяжении;

- ♦ $TN-C-S$, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания;

2) 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) 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 – к способу заземления открытых токопроводящих частей электрооборудования зданий:

- ♦ T (от лат. *terra* – земля) – непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания (как правило, нейтрали) к земле;

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

- ♦ N (от фр. *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 (вторая буква) – 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 фр. *combine* – комбинация) – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников выполняет общий проводник *PEN*;
- ♦ *S* (от фр. *separe* – сепарация) – функции нулевого рабочего (*N*) и нулевого защитного (*PE*) проводников обеспечиваются специальными отдельными проводниками [1].

4.4 Схемы и конструктивное исполнение внутрицеховых электрических сетей напряжением до 1кВ

Электрические сети, как правило, выполняются на напряжение 400/230 В. Систему напряжения 690 /400 В рекомендуется применять в следующих случаях:

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

Электрические сети напряжением до 1 кВ различаются между собой в зависимости от конструкции, способов изоляции и прокладки применяемых проводников (проводов, кабелей, шин). На выбор конструктивного исполнения внутрицеховых сетей влияют следующие основные факторы:

- ♦ назначение электрической сети;
- ♦ требования электробезопасности;
- ♦ условия окружающей среды;
- ♦ территориальное размещение электроприемников;
- ♦ величина и характер электрической нагрузки приемников и потребителей электроэнергии, присоединенных к электрическим сетям;
- ♦ возможные электродинамические, термические и механические воздействия на проводники электрической сети;
- ♦ доступность электрической сети для людей, использующих электроэнергию в своей деятельности;
- ♦ требования технической эстетики [1].

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

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

Питающие внутрицеховые сети. В сетях промышленных предприятий, построенных по магистральным схемам, широко применяются шинопроводы. В ТП магистральные шинопроводы подключаются к небольшим распределительным устройствам через линейный автоматический выключатель $QF3$ (рисунок 4.1, *a*) или наглухо (рисунок 4.1, *б*).

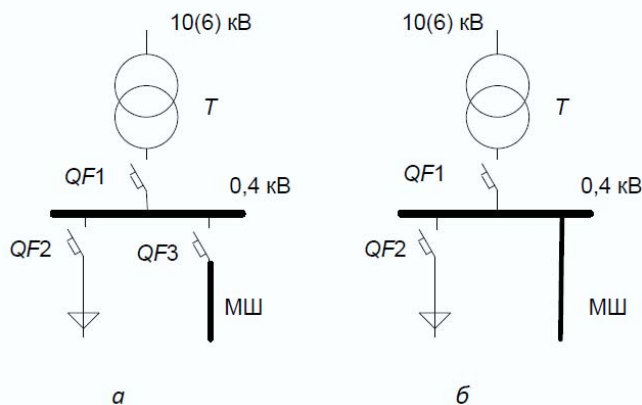


Рисунок 4.1. Схема присоединения магистральных шинопроводов:
a - с помощью автоматического выключателя; *б* - наглухо

Если к трансформатору подключены две магистрали или по магистрали передается часть мощности трансформатора, то присоединение шинопровода к шинам РУ ТП должно производиться через линейный автоматический выключатель (рисунок 4.1, *a*), выбранный по расчетному току магистрали.

В большинстве случаев электроприемники первой и второй категорий питаются от ТП с двумя трансформаторами по схеме, показанной на рисунке 4.2.

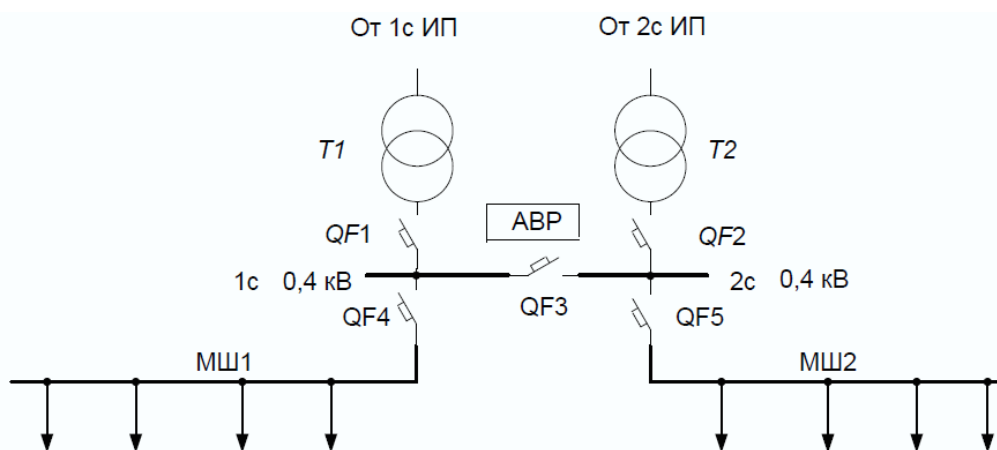


Рисунок 4.2. Магистральная схема питающей сети при применении двухтрансформаторной подстанции

4.5 Электрические осветительные установки

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения.

Рабочее освещение предназначено для создания нормальной освещенности на рабочих местах.

Аварийное освещение обеспечивает требуемую освещенность при внезапном отключении рабочего освещения. Данный вид освещения разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности следует предусматривать в тех случаях, когда отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

- взрыв, пожар, угрозу жизни и здоровью людей;
- длительное нарушение технологического процесса;
- нарушение работы ответственных объектов (электростанции, компрессорные, насосные, вентиляционные установки и т.п.);
- нарушение режима детских учреждений независимо от числа находящихся в них детей.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах производства работ вне зданий следует предусматривать:

- в местах, опасных для прохода людей;
- в проходах и на лестницах при числе эвакуирующихся более 50 человек;
- по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 человек;
- на лестничных клетках жилых домов, имеющих шесть и более этажей;
- в помещениях общественных зданий, административных и бытовых зданий промышленных предприятий, если там одновременно могут находиться более 100 человек;
- в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, выход которых при отключенном рабочем освещении связан с опасностью травматизма;
- в производственных помещениях без естественного света.

В большинстве случаев в помещениях устраивается какой-либо один вид аварийного освещения. Если это освещение безопасности, то должна быть обеспечена освещенность рабочих поверхностей путем установки светильников равномерного, локализованного или местного освещения. Но при размещении светильников следует учитывать необходимость освещения проходов.

При выполнении эвакуационного освещения обычно ограничиваются

установкой светильников только по линии основных проходов.

Для аварийного освещения либо устанавливаются дополнительные светильники, либо используется часть светильников рабочего освещения, которые питаются от другого источника или при исчезновении напряжения переключаются на резервный источник.

В общественных, административных и бытовых зданиях предприятий выходы из помещений, где могут находиться одновременно более 100 человек, а также выходы из производственных помещений без естественного света, где могут находиться одновременно более 50 человек, или имеющих площадь более 150 м², должны быть отмечены указателями.

Указатели выходов могут быть световыми, со встроенными в них источниками света, присоединяемыми к сети аварийного освещения, и без источников света при условии, что обозначение выхода (надпись, знак) освещается светильниками аварийного освещения. Указатели должны устанавливаться на расстоянии не более 25 м друг от друга, а также в местах поворотов коридоров.

Освещение безопасности должно обеспечивать не менее 5 % освещенности рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк на территориях предприятий. При этом внутри зданий освещенность должна быть не более 30 лк - при разрядных лампах и не более 10 лк - при лампах накаливания.

Эвакуационное освещение должно создавать наименьшую освещенность 0,5 лк на полу основных проходов в помещениях, а на открытых территориях - 0,2 лк (или на земле).

Светильники освещения безопасности в помещениях могут использоваться и для эвакуационного освещения.

При проектировании осветительных установок целью расчета является определение числа и мощности ламп светильников, необходимых для обеспечения заданной освещенности.

Если для освещения предусматриваются лампы накаливания или газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и другие, то число и месторасположение светильников определяют до расчета освещения, а в процессе расчета находят необходимую мощность источника света.

При использовании люминесцентных ламп сначала намечают число и расположение рядов светильников, а затем определяют количество и мощность ламп, установленных в каждом ряду.

В результате светотехнического расчета освещения вычисляется значение светового потока принятого источника света $\Phi_{лр}$, на основании которого по справочной литературе выбирается стандартная лампа определенной мощности и светового потока, значение которого не должно отличаться от $\Phi_{лр}$ более чем на -10.. +20 %. Если такой источник подобрать не удастся, то принимается лампа со значением светового потока, ближайшим к $\Phi_{лр}$, а далее корректиру-

ется число светильников в помещении и осуществляется повторный расчет освещения.

Для расчета освещения применяются два основных метода: коэффициента использования светового потока и точечный метод.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения при отсутствии крупных затеняющих предметов.

Точечный метод следует использовать для расчета освещения произвольно расположенных поверхностей при любом распределении освещенности. Данный метод применяется при расчете общего равномерного освещения (при наличии существенных затенений), местного, общего локализованного, аварийного, а также освещения наклонных поверхностей [4].

5 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

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*.

Принято, что 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 выглядит примерно 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 % [1].

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

При заданной мощности компенсирующих устройств в первую очередь должны быть использованы конденсаторы и синхронные двигатели, а при больших реактивных нагрузках – синхронные компенсаторы. На кремниевых преобразовательных подстанциях целесообразно применять компенсационные преобразователи. При резко переменных и ударных реактивных нагрузках могут использоваться статические источники реактивной мощности. Основным средством компенсации реактивной мощности на промышленных предпри-

ях являются статические конденсаторы (рисунок 5.1), подключаемые параллельно электрической сети. Таким способом осуществляется поперечная компенсация реактивных нагрузок. Конденсаторы выпускаются на номинальные напряжения 220, 230, 380, 400, 415, 440, 480, 525, 690, 800 В одно- и трехфазными, а на напряжения 6,3 и 10,5 кВ – только однофазными.

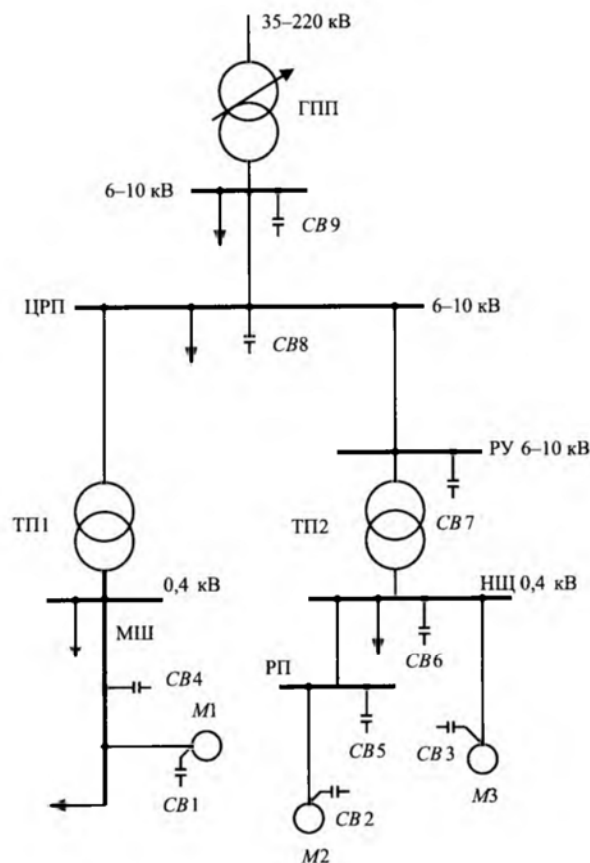


Рисунок 5.1. Места присоединения КУ в СЭС: $CB1$, $CB2$, $CB3$ – индивидуальная компенсация; $CB4$, $CB5$ – групповая компенсация; $CB6$, $CB7$, $CB8$, $CB9$ - централизованная компенсация; $M1$, $M2$, $M3$ – электроприемники [1]

Выбор средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750кВ·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 напряжением до 1 кВ и синхронные электродвигатели напряжением 6, 10 кВ. Учитывается реактивная мощность, которую целесообразно получать из энергосистемы в период максимальных нагрузок [1].

6 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 кВ

6.1 Характерные схемы внешнего электроснабжения на напряжении выше 1 кВ. Глубокие вводы

Промышленные предприятия в зависимости от установленной мощности электроприемников условно делятся на малые – до 5 МВт, средние – более 5, но менее 75 и крупные – более 75 МВт. Питание предприятия от энергосистемы может осуществляться с помощью одного или нескольких пунктов приема электроэнергии (ТП, РП, ЦРП, ГПП, ПГВ и т. п.).

Количество пунктов приема зависит от потребляемой предприятием мощности и от размещения нагрузок на его территории. При относительно компактном размещении нагрузок и отсутствии особых требований к надежности электроснабжения потребителя электроэнергия может быть подведена к одной подстанции или к одному РП.

Несколько пунктов приема электроэнергии предусматривается при:

- ♦ преобладании на предприятии электроприемников 1-й категории;
- ♦ наличии нескольких относительно мощных обособленных групп потребителей электроэнергии;
- ♦ поэтапном развитии предприятия, если для питания нагрузок второй очереди с учетом территориального расположения производственных объектов целесообразно сооружение дополнительного пункта приема электроэнергии.

В СЭС промышленных предприятий широко применяются кабельные линии. Воздушные линии электропередачи напряжением 110–220 кВ используются в системах внешнего электроснабжения средних и крупных промышленных предприятий. Воздушные линии электропередачи напряжением 6–10 кВ на промышленных предприятиях имеют ограниченное применение. С их помощью может осуществляться питание производственных объектов, территориально удаленных от основной площадки предприятия (насосных станций водоснабжения и канализации, складских сооружений, ремонтных баз и т. п.). Применяются воздушные линии напряжением 6–10 кВ также для электроснабжения малых предприятий, расположенных в небольших населенных пунктах и в сельской местности. Примерами таких объектов являются асфальтобетонные заводы, торфоразработки, карьеры строительных материалов, заводы по переработке сельскохозяйственной продукции и т. п.

Кабельные линии имеют ряд преимуществ: токопроводящие жилы защищены от атмосферных воздействий, линии имеют меньшие габариты и индуктивное сопротивление, более безопасны при обслуживании, не затрудняют

работу подъемно-транспортных устройств вблизи линий электропередачи и т. д. Кабельные сети могут применяться при любых природных и атмосферных условиях: в воздухе, земле и воде, в загрязненной среде, в районах с сильными ветрами и гололедами. В связи с этим КЛ получили широкое распространение в электрических сетях систем внутриводского электроснабжения промышленных предприятий. В то же время следует учитывать, что из-за несовершенства изоляции и кабельной арматуры, почвенной коррозии, подвижек грунтов, механических и термических воздействий кабели напряжением 6–10 кВ имеют достаточно высокую повреждаемость [1].

На эффективность систем электроснабжения, наряду с выбором схемы питания, определением количества и мощности силовых трансформаторов, места расположения пунктов приема электроэнергии и цеховых ТП, существенно влияет выбор рационального напряжения. Принятые напряжения определяют параметры линий электропередачи и электрооборудования подстанций, а следовательно, величину капитальных вложений, расход цветных металлов, потери электроэнергии и годовые издержки эксплуатации. Выбор напряжения не может осуществляться отдельно от схемы электроснабжения. С этой целью при проектировании СЭС намечаются несколько вариантов схемы электроснабжения при разных сочетаниях номинальных напряжений отдельных ее звеньев и производится их технико-экономическое сравнение по принятому критерию эффективности.

При радиальной схеме (рисунок 6.1) внешнего электроснабжения производственного объекта в качестве пункта приема электроэнергии используется РП. В случае применения РП не требуются понижающие трансформаторы при переходе от сетей внешнего электроснабжения к распределительным заводским электрическим сетям, что удешевляет систему электроснабжения промышленного предприятия. Радиальные схемы с одним или несколькими РП получили широкое распространение в системах внешнего электроснабжения промышленных объектов. Они применяются при незначительном удалении источника питания от промышленного предприятия (до нескольких километров).

Схема магистрального питания предприятия с помощью токопроводов представлена на рисунке 6.2.

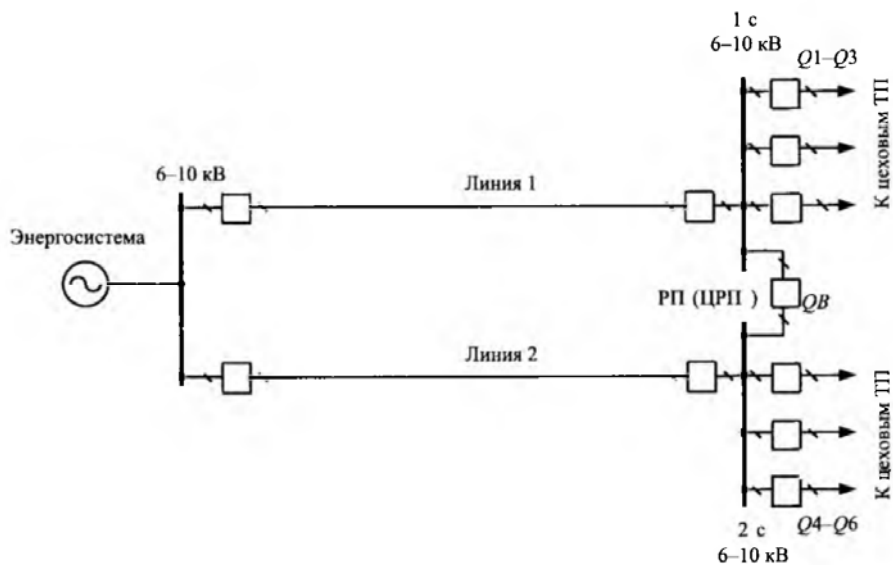


Рисунок 6.1. Радиальная схема электроснабжения предприятий малой и средней мощности на напряжении 6-10 кВ [1]

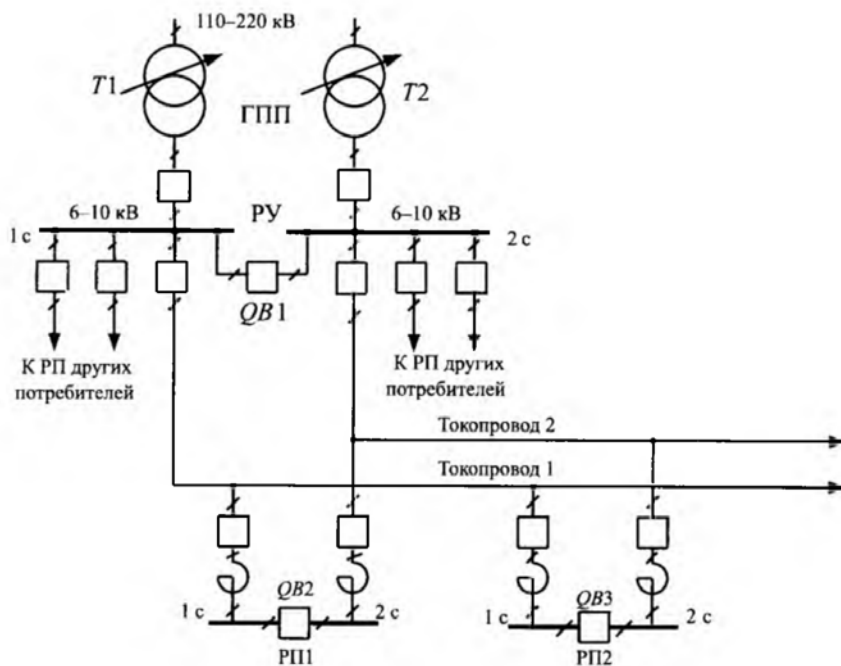


Рисунок 6.2. Схема магистрального питания предприятия с помощью токопроводов [1]

При проектировании систем электроснабжения новых предприятий применяются ГПП с масляными выключателями или с элегазовыми комплектными распределительными устройствами напряжением 110–220 кВ (рисунок 6.3). В распределительных устройствах напряжением 35 кВ устанавливаются масляные, элегазовые или вакуумные выключатели. На вторичном напряжении ГПП используются комплектные распределительные устройства с масляными, вакуумными или элегазовыми выключателями.

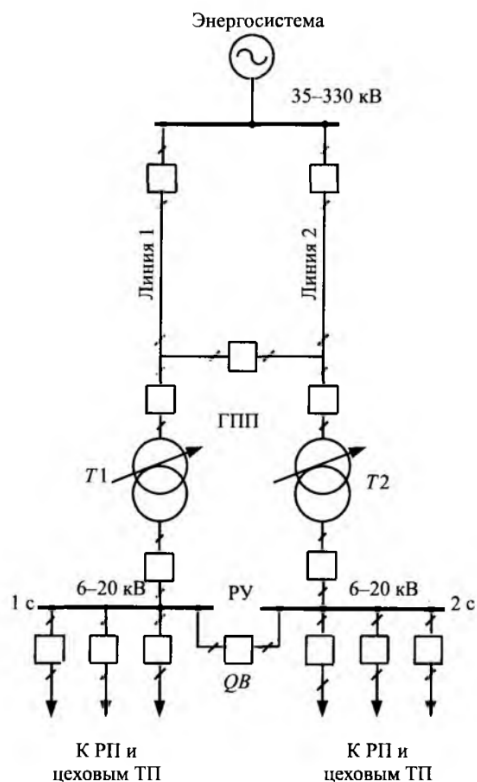


Рисунок 6.3. Схема электроснабжения предприятия с применением ГПП с выключателями на высшем напряжении [1]

Глубоким вводом называется система электроснабжения с максимально возможным приближением источников высокого напряжения 35–20 кВ к электроустановкам потребителей электроэнергии с минимальным количеством трансформаций и электрических аппаратов (рисунки 6.4, 6.5).

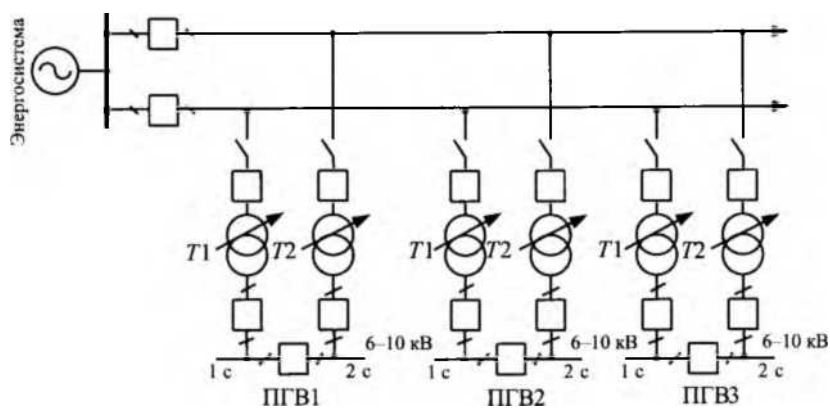


Рисунок 6.4. Магистральная схема электроснабжения предприятия с применением системы глубокого ввода [1]

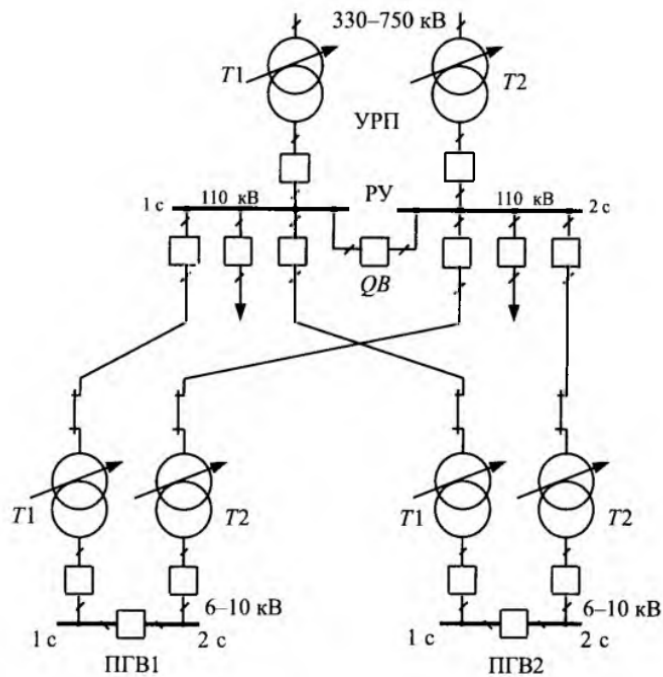


Рисунок 6.5. Радиальная схема электроснабжения предприятия с применением системы глубокого ввода

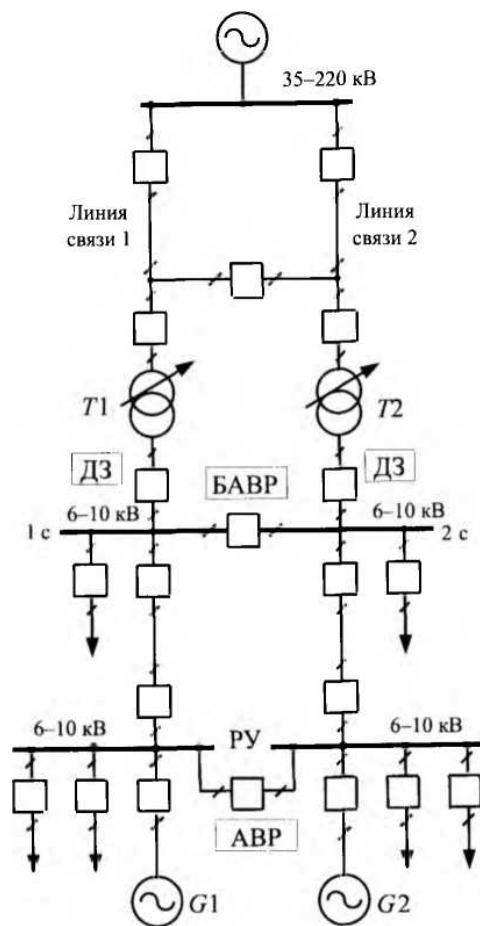


Рисунок 6.6. Схема электроснабжения предприятия с применением собственной электростанции и ее связи с энергосистемой на напряжении 35-220 кВ

При глубоком вводе происходит разукрупнение ГПП и прием электроэнергии децентрализуется.

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

Электроснабжение промышленных потребителей электроэнергии может осуществляться от сетей энергетической системы и собственных генерирующих источников. Собственные электростанции (в основном ТЭЦ) могут применяться в следующих случаях:

- ◆ на предприятиях с большим теплоснабжением;
- ◆ при значительном удалении потребителя от электрических сетей энергосистемы;
- ◆ при дефиците мощности в регионе, в котором находится промышленный объект;
- ◆ при предъявлении специальных требований к надежности электроснабжения, когда собственный источник питания необходим как резервный;
- ◆ при наличии на производственном объекте отходов производства (древесных, сельскохозяйственных и т. п.), которые экономически выгодно использовать в качестве топлива для электростанций;
- ◆ при целесообразности применения так называемых нетрадиционных источников энергии [1].

На связях должна предусматриваться *делительная защита* (ДЗ – на рисунке 6.6), предназначенная для отделения электростанции предприятия от сетей электроснабжающей организации при авариях в энергосистеме, вызывающих дефицит мощности, снижение частоты до недопустимых пределов, нарушение устойчивости [1].

6.2 Типовые схемы внутреннего электроснабжения

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 (рисунок 6.7), магистральными (рисунки 6.8, 6.9, 6.10) и смешанными (рисунок 6.11).

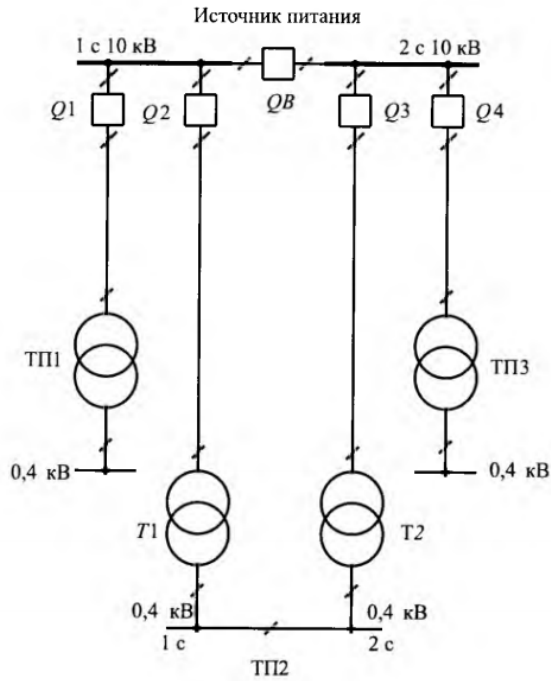


Рисунок 6.7. Одноступенчатая радиальная схема электроснабжения [1]

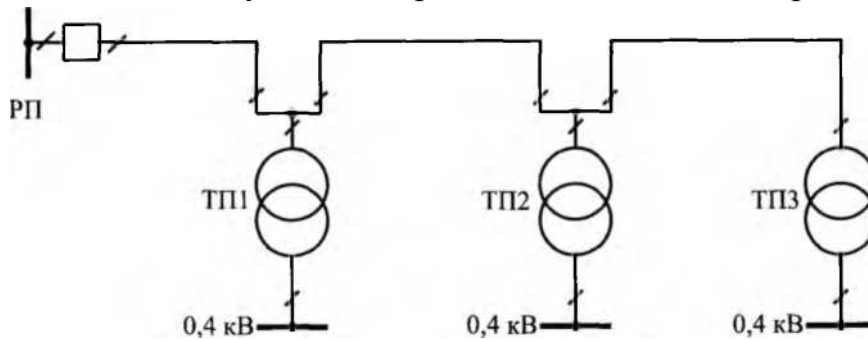


Рисунок 6.8. Схема одиночной магистрали

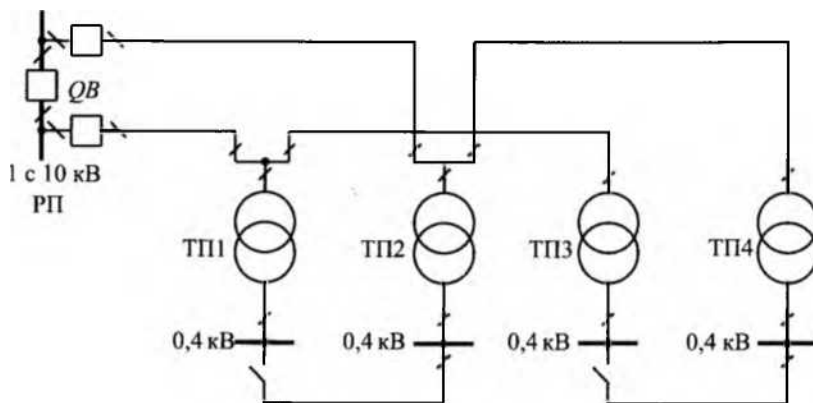


Рисунок 6.9. Схема двух одиночных магистралей с резервированием электроснабжения на напряжении до 1 кВ

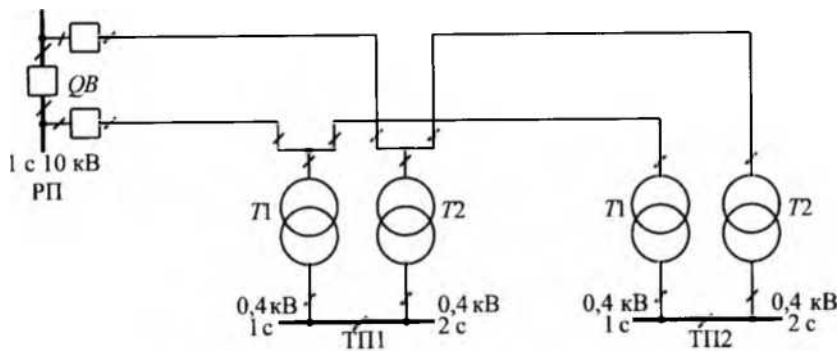


Рисунок 6.10. Схема двойной сквозной магистрали

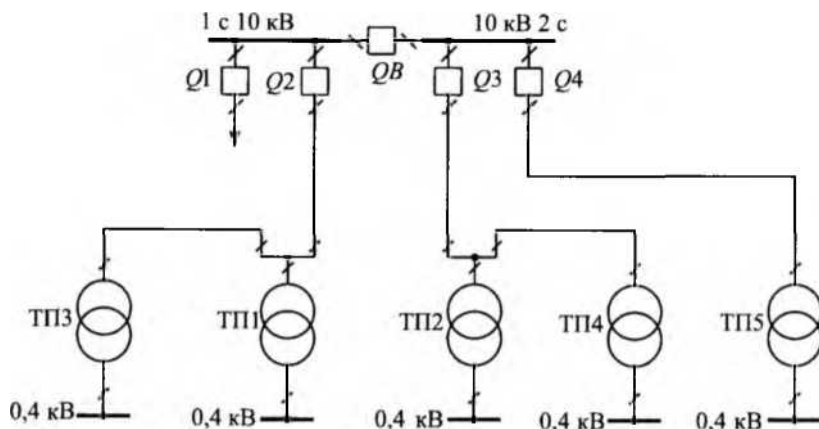


Рисунок 6.11. Смешанная схема электроснабжения

6.3 Выбор сечений проводников систем электроснабжения

Выбор экономически целесообразного сечения жил кабелей 6-10 кВ. Определение сечений жил кабелей по экономической плотности тока. Определение сечений проводников по допустимому нагреву. Выбор сечений жил кабелей по нагреву током короткого замыкания. Выбор и расчёт токопроводов напряжением 6-35 кВ.

Сечения токопроводящих жил кабелей напряжением 6–10 кВ выбираются с учетом следующих *экономических* и *технических факторов*:

- ♦ экономическая плотность тока или наименьшие приведенные затраты;
- ♦ длительно допустимый нагрев расчетным током в нормальном и послеаварийном (ремонтном) режиме;
- ♦ механическая прочность, т. е. устойчивость при механической нагрузке, возникающей в условиях эксплуатации;
- ♦ кратковременный нагрев током КЗ (термическая стойкость).

Кабели, защищенные токоограничивающими предохранителями (типа ПК, ПКТ), по термической стойкости не проверяются.

При двух питающих линиях, как правило, обе находятся в работе, что це-

лесообразно для уменьшения потерь электроэнергии и повышения надежности электроснабжения, так как нагрузка каждой линии в нормальном режиме примерно в 2 раза меньше. При выходе из строя одной из линий оставшаяся в работе линия несет полную нагрузку потребителя с учетом допустимой перегрузки.

Из трех полученных по расчетам сечений – по экономической плотности тока, допустимому нагреву и термической стойкости при КЗ – принимается большее.

Выбранные сечения жил кабелей должны обеспечивать требуемые уровни напряжения на зажимах электроприемников с учетом устройств регулирования силовых трансформаторов и установленных средств компенсации реактивной мощности.

7 ПИТАЮЩИЕ ПОДСТАНЦИИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ

7.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

В системах электроснабжения промышленных предприятий на ГПП и ПГВ преимущественно используются трансформаторы с номинальной мощностью 32, 40, 63 и 80 МВ А. Трансформаторы меньшей мощности (10,16 и 25 МВ А) целесообразны на предприятиях с нагрузками, рассредоточенными на большой территории (например, горнорудные предприятия, карьеры). При номинальной мощности 25 МВ А и более понижающие трансформаторы имеют расщепленные обмотки вторичного напряжения 6-10 кВ для уменьшения токов короткого замыкания с целью удешевления стоимости РУ вторичного напряжения [1].

Наибольшее распространение в системах электроснабжения промышленных предприятий получили трансформаторы следующих типов:

- ♦ ТДН – трехфазный, с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, с устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);
- ♦ ТРДН – трехфазный, с расщепленной обмоткой низшего напряжения, с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, с устройством РПН.

Трансформаторы с высшим напряжением 6–10 кВ выпускаются с естественным масляным охлаждением, сухими и с охлаждением негорючим диэлектриком.

Сухие трансформаторы с естественным воздушным охлаждением (в обозначении типа трансформатора вторая буква «С») выпускаются в открытом, защищенном или герметичном исполнении. Они могут иметь воздушно-барьерную изоляцию обмоток и изоляцию, залитую компаундом. Достоинства таких трансформаторов – пожаробезопасность, простота конструкции, отсутствие жидкого диэлектрика, незначительные издержки эксплуатации. Однако сухие трансформаторы требовательны к условиям окружающей среды (могут применяться только в помещениях с относительной влажностью воздуха – не более 80 % при отсутствии токопроводящей пыли, химически активных веществ, вибрации и т. д.), а по сравнению с масляными трансформаторами имеют меньшую перегрузочную способность (примерно в 2 раза). К тому же выпускаемые промышленностью сухие трехфазные трансформаторы дороже масляных трансформаторов той же мощности. С учетом этого сухие трансформаторы, обеспечивающие полную экологическую и пожарную безопасность, устанавливаются при повышенных требованиях к охране окружающей среды, а также в местах, где необходимо создать высокую безопасность функциониро-

вания объектов (водозаборные станции, спортивные сооружения, курортные зоны, жилые и общественные здания, кинотеатры, метрополитен, шахты) [1].

Трансформаторы с охлаждением негорючим жидким диэлектриком (в обозначении типа трансформатора вторая буква «Н») могут быть в защищенном или герметичном исполнении с гофрированным баком. Они выпускаются напряжением 10(6)/0,4 кВ мощностью 160–2500 кВ А. В качестве диэлектрика обычно применяются синтетические изоляционные материалы (совтол и др.), обладающие примерно такими же электроизоляционными свойствами и теплопроводностью, как и трансформаторное масло. Данные трансформаторы предназначены для установки на объектах с высокими требованиями к пожаробезопасности. Трансформаторы с охлаждением негорючим диэлектриком имеют меньшую себестоимость и габариты по сравнению с сухими трансформаторами и могут применяться в любой категории размещения, а по сравнению с масляными трансформаторами – более высокую степень пожаробезопасности [1].

В системах распределения электроэнергии напряжением 6–10 кВ, как правило, применяются *маслонаполненные трансформаторы* мощностью до 2500 кВ А типов ТМ, ТМЗ и ТМГ. Трансформаторы типа ТМ выпускаются с открытыми изоляторами и расширителем для масла. У трансформаторов в защищенном исполнении типа ТМЗ изоляторы закрыты кожухом, расширитель для масла отсутствует, а в баке, под не небольшим избыточным давлением, имеется азотная подушка для защиты жидкого диэлектрика (масла) от воздействия окружающей среды [1].

В герметичных трансформаторах типа ТМГ масло заливается на специальных вакуумных установках с целью исключения неблагоприятного воздействия на масло окружающей среды. Такие трансформаторы не требуют существенных затрат при их эксплуатации и контроля состояния масла в течение всего срока службы. Трехфазные масляные трансформаторы герметичного исполнения с гофрированным баком не имеют расширителя для масла. Температурные изменения объема масла в них компенсируются изменением объема гофров бака за счет пластичной деформации [1].

Приведем примеры расшифровки обозначений некоторых типов трансформаторов:

- ♦ ТМ-2500/6 – трехфазный, с естественной циркуляцией масла и воздуха, открытого исполнения, с номинальной мощностью 2500 кВ А и высшим напряжением 6 кВ;

- ♦ ТМЗ-1600/10 – трехфазный, с естественной циркуляцией масла и воздуха, в защищенном исполнении, с номинальной мощностью 1600 кВ А и высшим напряжением 10 кВ;

- ♦ ТСЗГЛ-1600/10 – то же, но с естественным воздушным охлаждением и геафоловой литой изоляцией;

- ♦ ТНГ-630/10 – трехфазный, с естественной циркуляцией негорючего диэлектрика и воздуха, в герметичном исполнении, с гофрированным баком, с номинальной мощностью 630 кВ А и высшим напряжением 10 кВ;

- ♦ ТМГ-1000/10 – трехфазный, с естественной циркуляцией масла и воздуха, в герметичном исполнении, с гофрированным баком, с номинальной мощностью 1000 кВ А и высшим напряжением 10 кВ.

Электрические схемы трансформаторных подстанций и РП разрабатываются при применении:

- ♦ простейших схем подстанций с минимальным количеством выключателей;

- ♦ одной системы шин в РУ ГПП, ПГВ и РП с разделением их на секции;

- ♦ как правило, отдельной работы линий и трансформаторов;

- ♦ блочных схем и бесшинных ПГВ;

- ♦ автоматики на всех напряжениях в разумных пределах [1].

На промышленных предприятиях могут применяться цеховые ТП с одним, двумя и тремя трансформаторами.

Однотрансформаторные подстанции следует применять для питания электроприемников преимущественно третьей и второй категории с учетом режима работы предприятия. В частности, такое решение возможно при двухсменной работе, когда невыработанная за время внезапного перерыва электроснабжения продукция может быть произведена за счет работы в третью смену или выходные дни. При этом необходимо иметь складской резерв трансформаторов и предусмотреть резервирование питания по сети напряжением до 1 кВ наиболее ответственных электроприемников, в том числе первой категории. Наличие резервных линий, между ТП позволяет эффективно осуществлять электроснабжение потребителей при резких снижениях нагрузок в нерабочее время путем отключения части подстанций [1].

Двухтрансформаторные подстанции применяются при значительной мощности нагрузок электроприемников первой категории, трехсменной работе электроприемников второй категории, сосредоточенных нагрузках цехов, неравномерном суточном или годовом графике нагрузок (наличие сезонных нагрузок или значительно различающихся нагрузок разных смен), ограниченной мощности трансформаторов из-за высоты помещения или других причин, требующих уменьшения габаритов ТП. Питание обособленных объектов общезаводского назначения (насосные и компрессорные станции) также рекомендуется осуществлять от двухтрансформаторных подстанций [1].

7.2 Понижительные подстанции с вторичным напряжением 6-10 кВ и распределительные пункты

На ГПП и ПГВ, как правило, устанавливаются два однотипных понижающих трансформатора с одинаковой номинальной мощностью, что значительно повышает надежность электроснабжения потребителей электроэнергии и создает возможности для поддержания экономически целесообразных режимов работы трансформаторов. Однотрансформаторные ГПП и ПГВ допускается применять лишь в отдельных случаях при обеспечении питания электроприемников первой категории в послеаварийном режиме по сети вторичного напряжения от соседних ИП. В системах электроснабжения следует применять глубокое секционирование всех звеньев системы, начиная от ИП и заканчивая шинами напряжением до 1 кВ ТП, а иногда и цеховых низковольтных РП [1].

Трансформаторные подстанции напряжением 10(6)/0,4 кВ, применяемые в системах электроснабжения промышленных предприятий, на первичном напряжении могут иметь схемы с высоковольтными вводными устройствами или со сборными шинами. Схема подстанции определяется конфигурацией сетей и режимом работы системы электроснабжения. Она должна обеспечивать требуемую надежность и экономичность электроснабжения, необходимую степень автоматизации и отвечать режимным особенностям работы сетей первичного и вторичного напряжений [1].

Как правило, схемы коммутации ТП промышленных предприятий выполняются без сборных шин первичного напряжения. Узловые подстанции, применяемые при разветвленных схемах распределительных сетей напряжением 6-10 кВ, во всех случаях должны иметь РУ первичного напряжения, шины которого используются для присоединения определенного числа линий электропередачи, питающих ряд подстанций данного объекта. На промышленных предприятиях к РУ напряжением 6-10 кВ ТП подключаются также линии, питающие высоковольтные электроприемники, расположенные в непосредственной близости от подстанции. В этом случае ТП играет роль РП напряжением 6–10 кВ [1].

В системах электроснабжения широко применяются комплектные трансформаторные подстанции, состоящие из трансформаторов и блоков, поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Использование КТП значительно ускоряет и упрощает строительно-монтажные работы и снижает капитальные затраты на сооружение СЭС.

Выбор мощности трансформаторов цеховых подстанций производится на основе технико-экономических расчетов исходя из полной расчетной нагрузки объекта, удельной плотности нагрузки, затрат на питающую сеть напряжением до 1 кВ, стоимости потерь электроэнергии в трансформаторах и питающей сети напряжением до 1 кВ, а также других факторов (рисунок 7.1).

а)

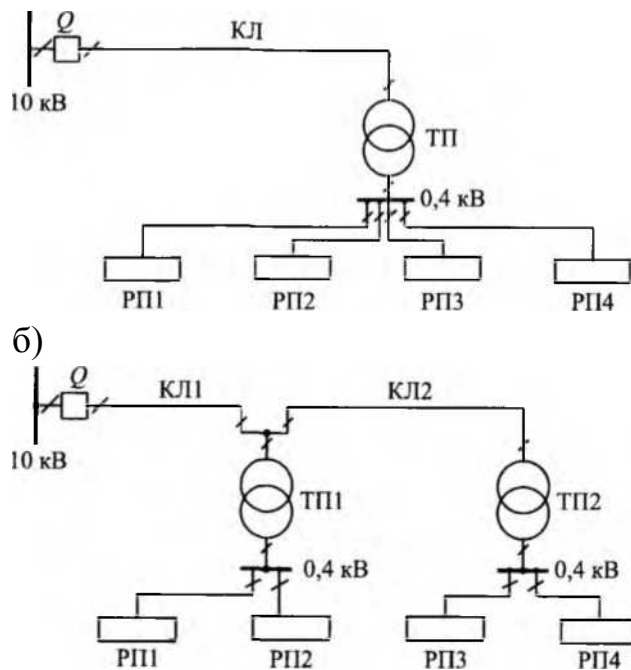


Рисунок 7.1. Схема электроснабжения потребителей электроэнергии: а — с применением одной ТП; б — с применением двух ТП [1]

При определении мест установки ТП, РП, ГПП, ПГВ и компенсирующих устройств реактивной мощности необходимо иметь информацию о величине и распределении электрических нагрузок по территории промышленного объекта. С этой целью строят картограмму электрических нагрузок для предприятия или его структурного подразделения.

Картограмма – это план, на котором отображается средняя интенсивность распределения нагрузок электроприемников. Ее строят на плане расположения электроприемников как в цехах, так и на генеральном плане предприятия. При построении картограммы на генплане в качестве электроприемников рассматриваются цехи производственного объекта.

Геометрическое представление средней интенсивности нагрузок может выполняться разными способами. Наиболее простой из них состоит в изображении распределения электрических нагрузок в виде кругов, площади которых в определенном масштабе отображают нагрузки. Центром круга является условный центр электрической нагрузки приемника, групп или цеха. При равномерном распределении нагрузок по площади объекта центр электрической нагрузки совпадает с центром геометрической фигуры, изображающей цех на генплане предприятия [1].

Для выбора мест расположения ГПП, ПГВ и РП используют картограммы нагрузок (расходов электроэнергии) и условный центр электрических нагрузок.

Понижающие подстанции (ГПП и ПГВ) желательно размещать по возможности ближе к центрам электрических нагрузок питаемых ими промышленных объектов с учетом условий планировки, прохождения воздушных ли-

ний напряжением 35 – 220 кВ по территории предприятия, состояния окружающей среды и т. п. Конкретные условия промышленного объекта не всегда позволяют разместить ГПП в центре его нагрузок. В таких случаях подстанция может быть смещена от ЦЭН в сторону ИП. Необходимо стремиться размещать ГПП и ПГВ напряжением 35 – 220 кВ рядом с питаемыми или производственными корпусами, а их РУ напряжением 6 – 10 кВ рекомендуется встраивать в эти корпуса.

Для оптимального выбора схем и компоновок ГПП и ПГВ необходимо учитывать следующие факторы:

- ♦ сокращение занимаемой электроустановками площади территории предприятия с целью экономии земли;
- ♦ наличие производственной загрязненности окружающей среды, действующей на изоляцию и токоведущие части;
- ♦ насыщенность территории предприятия технологическими, санитарно-техническими, электротехническими, теплотехническими и транспортными коммуникациями;
- ♦ наличие на предприятии резкопеременных, вентильных несимметричных нагрузок;
- ♦ возможность значительной подпитки места КЗ от электродвигателей [1].

8 РЕЖИМЫ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Задачи и способы регулирования напряжения в системах электроснабжения. Способы регулирования напряжения коэффициентом трансформации трансформаторов, автотрансформаторов и специальными регуляторами. Способы регулирования напряжения изменением параметров сети или компенсацией падения напряжения в сети. Использование компенсирующих устройств для регулирования напряжения. Регулирование напряжения при резкопеременных нагрузках. Определение потерь напряжения в электрических сетях напряжением 6-10 кВ. Добавки напряжения.

Для поддержания уровней напряжения в допустимых пределах в системах электроснабжения промышленных предприятий используются различные методы, которые можно разделить на две группы:

- ♦ не требующие затрат на установку специальных регулирующих устройств;
- ♦ связанные с установкой таких устройств.

К первой группе относятся следующие мероприятия:

- 1) рациональное построение системы электроснабжения (использование повышенного напряжения для линий, питающих предприятие; применение глубоких вводов; оптимальная загрузка силовых трансформаторов; применение токопроводов);
- 2) установка на ГПП и ПГВ трансформаторов, имеющих устройства РПН;
- 3) правильный выбор регулировочных ответвлений обмоток трансформаторов, имеющих устройства ПБВ;
- 4) использование перемычек на напряжение до 1 кВ между цеховыми трансформаторами, обеспечивающих изменение схемы питания потребителей электроэнергии;
- 5) снижение сопротивления системы внутриводского электроснабжения включением на параллельную работу трансформаторов ГПП и ПГВ;
- 6) регулирование напряжения генераторов собственных электростанций предприятия;
- 7) использование регулировочных возможностей синхронных электродвигателей [1].

Ко второй группе мероприятий по регулированию напряжения относится применение:

- 1) устройств поперечной и продольной компенсации;
- 2) специальных регуляторов напряжения.

Наиболее эффективным способом регулирования напряжения в цеховых электрических сетях напряжением до 1 кВ является изменение коэффициента

трансформации цеховых трансформаторов с помощью устройства ПБВ.

Поскольку для изменения коэффициента трансформации трансформатора с ПБВ требуется отключать его от сети, регулирование напряжения таким способом осуществляется редко. В условиях эксплуатации систем электроснабжения производственных объектов такие переключения в лучшем случае производятся 2 раза в год при сезонном регулировании напряжения [1].

9 РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Учет электроэнергии на промышленных предприятиях подразделяется на расчетный (коммерческий) и технический (контрольный).

Расчетный учет электроэнергии предназначен для учета выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее. Данный вид учета 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.

Расчетные счетчики электроэнергии рекомендуется устанавливать на границе раздела (по балансовой принадлежности) электрических сетей электропитающей организации и предприятия. Допускается установка приборов учета в пункте приема электроэнергии. В этом случае потребитель оплачивает потери электроэнергии в питающей линии. Возможные места установки приборов расчетного учета показаны на рис. 14.1.

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 30 000 кВт ч.

Учитываться должна мощность и энергия, полученная от энергопитающей организации или переданная ей в том случае, если по этим данным осуществляются денежные расчеты или контроль режима работы компенсирующих устройств [1].

Счетчики расчетного учета электроэнергии должны иметь класс точности в соответствии с ТКП 339 – 2011.

Мероприятия по экономии электроэнергии на промышленных предприятиях можно разделить на конструктивные и эксплуатационные.

На объектах промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью 750 кВ А и более должны создаваться расчетные АСКУЭ. Если потребитель имеет лишь один силовой трансформатор, то в качестве расчетной АСКУЭ допускается применять электронный программируемый многотарифный счетчик активной энергии, осуществляющий фиксацию величин наибольшей получасовой активной мощности, потребляемой в утренние и вечерние часы максимальных нагрузок энергосистемы, и осуществляющий раздельный учет потребляемой активной энергии в тарифных зонах суток.

Большинство промышленных предприятий имеют два и более питающих ввода, на которых устанавливаются расчетные счетчики электроэнергии. Для

определения совмещенной нагрузки в часы максимума энергосистемы необходимы специальные суммирующие устройства. Применяемые на промышленных предприятиях АСКУЭ выполняют различные функции. С их помощью производится контроль максимальной совмещенной нагрузки предприятия, вырабатываются предупредительные сигналы при появлении тенденции к превышению заявленного максимума нагрузки, выдаются команды на отключение потребителей-регуляторов при необходимости снижения мощности предприятия, измеряется расход электроэнергии по каждому вводу, суммируется потребляемая энергия нарастающим итогом, а также по установленным временным зонам, определяется расход электроэнергии за смену, сутки, расчетный период и т. п.

В качестве иллюстрации на рисунке 9.1 показана упрощенная принципиальная схема автоматизации учета электроэнергии для предприятия, получающего питание по двум вводам.

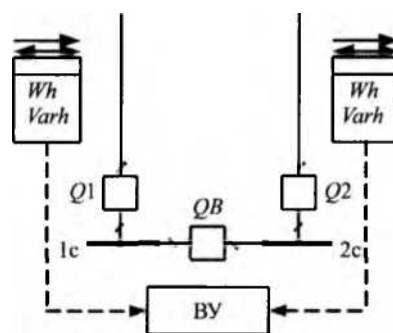


Рисунок 9.1. Принципиальная схема автоматизации учета электроэнергии

Мероприятия по экономии электроэнергии на промышленных предприятиях можно разделить на конструктивные и эксплуатационные

К первым относятся мероприятия, требующие дополнительных капитальных вложений, связанных с применением нового энергоэффективного оборудования и регулирующих устройств, установкой дополнительных средств компенсации реактивной мощности и т. п. Ко вторым – малозатратные мероприятия, для осуществления которых не требуется существенных материальных и денежных затрат: своевременное отключение малозагруженных трансформаторов, установление рациональных режимов работы линий, трансформаторов и высоковольтных электродвигателей.

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. Расход электроэнергии в производственных процессах является функцией многих переменных. Наибольшую эффективность в энергосбережении на промышленных предприятиях имеют следующие основные направления:

- 1) применение для производственных процессов рациональных видов и параметров энергоносителей (электроэнергии, горячей воды, пара, сжатого воздуха и т. п.);
- 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. Например, нагрев обрабатываемых изделий в промышленных печах может производиться как с использованием электроэнергии, так и с непосредственным сжиганием топлива. Силовые процессы (ковка, штамповка, прессование) могут обеспечиваться не только электрическим, но и пневматическим приводом (сжатым воздухом). Оптимизация видов и параметров энергоносителей на основе технико-экономических расчетов является важным элементом энергосбережения.

Применение в промышленности энергоэффективных технологий и оборудования позволяет производить выпуск продукции с меньшими значениями удельных расходов электроэнергии.

К прогрессивным технологиям можно отнести плазменный нагрев, поверхностную закалку с помощью лазерных установок и токами высокой частоты, автоматическую сварку на переменном токе, электроискровую и электроимпульсную обработку металлов, использование электростатического поля для окраски изделий, сортировки и смешивания материалов и т. п.

Большое значение для энергосбережения имеет также интенсификация производственных процессов, например повышение скорости резания обрабатывающих станков, ускорение нагрева путем увеличения удельной мощности без изменения вида нагрева и т. п.

В общем электропотреблении промышленных предприятий затраты электроэнергии на искусственное освещение составляют 5-15 % и зависят от отрасли промышленности. Следует стремиться к рациональному использованию этой энергии, обоснованно применяя экономичные и наиболее подходящие для конкретных условий источники света и световые приборы. В целях экономии электроэнергии в осветительных установках промышленных предприятий следует преимущественно использовать газоразрядные лампы. Перспективными являются световые приборы на основе светодиодов. Весьма важно также правильно организовать эксплуатацию осветительных установок и управление ими, что необходимо учитывать при их проектировании.

Важную роль для экономии электроэнергии играет автоматизация производственных процессов и отдельных технологических установок. В частности, автоматизация компрессорных станций сжатого воздуха снижает расход электроэнергии примерно на 10 %, автоматическое регулирование и управление вентиляционными установками в зависимости от температуры наружного воздуха – на 10-15, автоматическое управление электрическим освещением – на 15, автоматизация и телемеханизация технологических процессов – на 2-3 %.

Ощутимую экономию электроэнергии можно получить уменьшением ее потерь в производственном и энергетическом оборудовании, а также в элементах СЭС. Весьма значительными являются потери на трение у разнообразных производственных механизмов, станков, транспортеров и приводов из-за их недоброкачественной смазки. Например, для прядильных станков, в которых около 80 % электроэнергии расходуется на трение и 20 % на прядение, более совершенная смазка позволила снизить расход электроэнергии на 70 %. В среднем своевременная и качественная смазка машин и механизмов позволяет уменьшить потребление электроэнергии на 0,5-1,5 %.

Симметрирующие, фильтрокомпенсирующие и другие дополнительные устройства, применяемые в СЭС для повышения качества напряжения, подводимого к электроприемникам, расходуют значительное количество электроэнергии, поэтому по возможности следует сокращать или исключать установку дополнительных устройств в СЭС. Например, в симметрирующих устройствах (СУ) теряется не менее 10 % передаваемой электроэнергии. Вместо трансформатора со схемой звезда – звезда и СУ можно установить трансформатор, аналогичный по мощности со схемой соединения обмоток звезда – зигзаг. В итоге за счет исключения СУ это приведет к уменьшению потерь электроэнергии.

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. Особенно важно поддерживать оптимальные режимы работы для электрических печей и других электроемких электроприемников. Существенное влияние на эффективность использования электроэнергии на промышленных предприятиях имеют рациональное построение СЭС, правильный выбор электрооборудования, а также применение автоматизации учета и контроля электропотребления [1].

Литература

1. Радкевич , В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие / Радкевич В.Н., Козловская В.Б., Колосова И.В. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 589с.
2. Радкевич, В.Н. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова.- Минск: БНТУ, 2017.- 172с.
3. Радкевич, В.Н. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова.- Минск: БНТУ, 2013.- 124с.
4. Козловская, В.Б.Электрическое освещение / В.Б.Козловская, В.Н.Радкевич, В,Н.Сацукевич.-Минск: «Техноперспектива», 2011.-543 с.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ
электронного учебно-методического комплекса
по дисциплине «**Электроснабжение промышленных предприятий и
гражданских зданий**»
для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процес-
сов и производств (по направлениям)»

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ, ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Темы практических занятий

Тема 1. Оценка влияния режима электропотребления на потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения и на плату за электропотребление промышленного предприятия.

Тема 2. Определение расхода электроэнергии электроприемниками промышленного предприятия и платы за электропотребление.

Тема 3. Построение селективной защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ от сверхтоков. Выбор и расчет кабелей и шинопроводов цеховых электрических сетей.

Тема 4. Выбор автоматических выключателей, предохранителей, тепловых реле, магнитных пускателей.

Тема 5. Выбор батарей низковольтных конденсаторов в электрических сетях производственных объектов.

Тема 6. Оценка целесообразности использования синхронных двигателей напряжением 6-10 кВ для компенсации реактивной мощности.

Тема 7. Расчет потерь напряжения в электрических сетях и добавок напряжения цеховых трансформаторов при питании их по радиальным, магистральным и смешанным схемам.

Тема 8. Определение рациональной загрузки силовых трансформаторов. Выбор состава работающих силовых трансформаторов на подстанциях и в цехах промышленного предприятия.

Темы лабораторных занятия

1. Исследование плавких предохранителей.
2. Исследование контакторов постоянного и переменного тока.
3. Изучение электромагнитного и цифрового реле времени.
4. Исследование автоматического выключателя.
5. Исследование реле максимального тока.
6. Исследование теплового реле.
7. Исследование графиков электрических нагрузок.
8. Изучение магистральных, распределительных, троллейных и осветительных шинопроводов.

9. Потребители реактивной мощности в системах электроснабжения предприятий. Источники реактивной мощности в системах электроснабжения предприятий.

10. Оперативные переключения и вывод электрооборудования в ремонт.

11. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии промышленного предприятия.

12. Регулирование напряжения методами продольной и поперечной компенсации.

13. Комплектные распределительные устройства напряжением выше

14. 1 кВ.

15. Электрические осветительные установки.

16. Режимы нейтрали в системах электроснабжения.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

электронного учебно-методического комплекса

по дисциплине «**Электроснабжение промышленных предприятий и
гражданских зданий**»

для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процес-
сов и производств (по направлениям)»

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

ЧАСТЬ 1

1. Понятия об электроприемниках и потребителях электроэнергии. Общая классификация потребителей электроэнергии.
2. Режимы работы электроприемников по нагреву: S1, S2, S3.
3. Номинальная мощность. Номинальное напряжение. Род тока. Частота тока.
4. Категории электроприемников по надежности электроснабжения.
5. Удельный расход электроэнергии. Стабильность расположения оборудования.
6. Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников и потребителей электроэнергии: использования, включения, загрузки, максимума и спроса.
7. Энергетические расходные характеристики приёмников и потребителей электроэнергии.
8. Определение и классификация графиков нагрузок. Показатели, характеризующие графики нагрузок.
9. Индивидуальные и групповые графики нагрузок.
10. Способы регулирования графиков нагрузок.
11. Основные понятия и определения: установленная мощность, средние, среднеквадратические электрические нагрузки.
12. Основные понятия и определения: максимальные и расчетные электрические нагрузки.
13. Определение электрических нагрузок с помощью коэффициента расчетной мощности.
14. Расчет электрических нагрузок по установленной мощности и коэффициенту спроса.
15. Определение электрических нагрузок по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции.
16. Определение электрических нагрузок по удельной нагрузке на единицу производственной площади.
17. Вероятностный характер электрических нагрузок. Статистический метод определения расчетных нагрузок.
18. Определение пиковых нагрузок.
19. Определение электрических нагрузок жилых зданий.
20. Определение электрических нагрузок общественных зданий.

21. Рубильники. Пакетные выключатели. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.
22. Предохранители. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.
23. Выбор плавких предохранителей. Обеспечение селективности защиты.
24. Контактторы. Магнитные пускатели. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.
25. Тепловые реле. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.
26. Реле. Типы реле, назначение, принцип работы.
27. Автоматические выключатели. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.
28. Выбор автоматических выключателей. Обеспечение селективности защиты.
29. Принципы защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ от сверхтоков.
30. Схемы силовых и осветительных электрических сетей до 1 кВ. Схемы питающих и распределительных сетей напряжением до 1 кВ (радиальные, магистральные, смешанные).
31. Провода и кабели, применяемые в электрических сетях до 1 кВ.
32. Выбор сечений проводников по допустимому нагреву.
33. Расчет электрических сетей до 1 кВ по потерям напряжения.
34. Режимы нейтрали в электроустановках до 1 кВ.
35. Характеристики источников света. Виды и системы освещения. Электрические источники света. Лампы накаливания. Газоразрядные лампы низкого и высокого давления. Светодиодные источники света. Области применения электрических ламп различных типов. Световые приборы: светильники и прожекторы. Характеристика световых приборов как потребителей электроэнергии.
36. Электротехнологические установки. Электрические печи и электротермические установки. Электрические печи сопротивления косвенного и прямого нагрева. Индукционные плавильные печи и установки. Дуговые электрические печи. Установки дуговой и контактной электро-сварки. Преобразовательные установки потребителей электроэнергии. Электролизные установки.
37. Характеристика силовых общепромышленных установок как потребителей электроэнергии. Компрессоры, вентиляторы, насосы. Подъемно-транспортные устройства. Краны, кран-балки, тельферы, подъемни-

ки. Поточно-транспортные системы. Конвейеры, транспортеры, рольганги, нории, шнеки и т. д.

ЧАСТЬ 2

38. Общие сведения об электроэнергетических системах. Понятия о системах электроснабжения. Требования, предъявляемые к системам электроснабжения.

39. Понятия о системах электроснабжения. Особенности электроснабжения промышленных предприятий.

40. Электрическое хозяйство промышленного предприятия. Электрические показатели электрического хозяйства предприятия.

41. Определение силовых нагрузок по коэффициенту расчетной мощности.

42. Определение расхода электроэнергии силовыми и осветительными электроприемниками.

43. Определение потерь мощности и энергии в линиях электропередачи.

44. Определение потерь мощности и энергии в силовых трансформаторах.

45. Определение потерь мощности и энергии в токоограничивающих реакторах, в конденсаторных установках.

46. Способы снижения потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

47. Экономически целесообразные режимы работы трансформаторов на подстанциях.

48. Основные принципы построения схем электрических сетей на напряжение до 1 кВ.

49. Схемы электрических сетей цеховых потребителей электроэнергии.

50. Области применения напряжений 400/230 и 690/400 В.

51. Выбор проводников электрических сетей напряжением до 1 кВ.

52. Реактивная мощность в электрических сетях.

53. Снижение потерь мощности и напряжения при установке компенсирующих устройств.

54. Способы снижения реактивных нагрузок потребителей, не требующие компенсации реактивной мощности.

55. Источники реактивной мощности. Батареи статических конденсаторов.
56. Источники реактивной мощности. Синхронные электродвигатели. Синхронные компенсаторы. Синхронные генераторы.
57. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжение выше 1 кВ.
58. Выбор номинального напряжения системы электроснабжения.
59. Внешнее электроснабжение предприятий, не имеющих собственных электростанций.
60. Внешнее электроснабжение предприятий с собственными электростанциями.
61. Типовые схемы внутреннего электроснабжения.
62. Выбор месторасположения распределительных пунктов и понижающих трансформаторных подстанций.
63. Схемы трансформаторных подстанций напряжением 10(6)/0,4 кВ.
64. Выбор экономически целесообразного сечения проводников.
65. Определение сечений проводников по допустимому нагреву на напряжение выше 1 кВ.
66. Выбор сечений жил кабелей напряжением выше 1 кВ по нагреву током короткого замыкания.

Перечень экзаменационных задач

1. Определение расчетных нагрузок на шинах напряжением до 1 кВ трансформаторных подстанций.
2. Определение расчетных нагрузок кабельных линий напряжением 6-10 кВ, питающих ТП.
3. Определение расчетных нагрузок кабельных линий напряжением 6-10 кВ, питающих распределительные пункты (РП).
4. Определение расчетных нагрузок на шинах напряжением 6-10 кВ распределительных пунктов и трансформаторных подстанций.
5. Выбор сечения жил кабелей линий 10кВ, питающих ТП с одним и двумя трансформаторами.
6. Выбор сечения жил кабелей линий 10 кВ, питающих двухсекционный РП.
7. Определение снижения потерь активной мощности в кабельной линии 6-10 кВ при установке у потребителя компенсирующих устройств.

8. Определение снижения потерь активной мощности в силовом трансформаторе при установке у потребителя компенсирующих устройств.
9. Определение мощности конденсаторных установок (КУ) в зависимости от величины подведенного напряжения.
10. Определение мощности конденсаторных установок, необходимой для повышения напряжения на определенную величину.
11. Определение годовой стоимости потерь в конденсаторных установках и синхронных двигателях.
12. Расчет повышения напряжения у потребителя при установке КУ.
13. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов.

Перечень информационно-справочных материалов, разрешенных к использованию студентами на экзамене

Справочные таблицы:

- коэффициенты расчетной нагрузки для трансформаторов
- допустимые длительные токи кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 10 кВ;
- допустимые односекундные токи КЗ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 10 кВ;
- экономическая плотность тока;
- поправочные коэффициенты на допустимые токи кабелей, учитывающие температуру окружающей среды;
- активные и индуктивные сопротивления проводов и кабелей;
- технические характеристики силовых трансформаторов;
- технические характеристики конденсаторных установок.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ
электронного учебно-методического комплекса
по дисциплине «**Электроснабжение промышленных предприятий и
гражданских зданий**»
для специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процес-
сов и производств (по направлениям)»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий» разработана для специальности 1-53 01 01 - 10 «Автоматизация технологических процессов и производств» (энергетика).

Целью изучения дисциплины является получение будущими специалистами высокого уровня профессиональной подготовки в области преобразования, передачи и потребления электроэнергии, приобретение навыков в вопросах рационального распределения и использования потребляемой электроэнергии на промышленном предприятии, в общественных и гражданских зданиях.

Основными задачами преподавания учебной дисциплины являются:

1. изучение структурного подразделения приемников и потребителей электрической энергии в отдельных отраслях народного хозяйства;
2. ознакомление с характерными группами электроприемников, их режимами работы, основными номинальными параметрами, с расходными характеристиками технологического и электрооборудования, определением расчетных электрических нагрузок, с разработкой схем электроснабжения;
3. приобретение навыков выбора энергосберегающего электрического оборудования и проводников электрических сетей;
4. ознакомление с методами расчёта электрических нагрузок; с устройством и выбором электрических аппаратов напряжением до и выше 1 кВ; со схемами и конструктивным исполнением систем электроснабжения промышленных и гражданских зданий и др.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин как: «Математика», «Физика», «Теоретические основы электротехники».

В результате освоения курса «Электроснабжение промышленных и гражданских зданий» студент должен:

знать:

- виды приемников и потребителей электроэнергии, основные характеристики приемников и потребителей электроэнергии, типы и конструкции электрических аппаратов управления и защиты, устройство электрической осветительной установки;
- методы расчёта электрических нагрузок;
- расчёт сечения и условия выбора проводов и кабелей в сетях напряжением до 1 кВ;
- расчёт сечения и условия выбора кабелей в сетях напряжением выше 1 кВ;
- характеристики основного электрооборудования подстанций;
- схемы, конструкции и режимы работы электрических схем внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий;
- область применения электродвигателей постоянного и переменного тока;
- характеристики промышленных технологических и энергетических потребителей;
- способы рационального использования электрической энергии;

уметь:

- определять расчетные электрические нагрузки;
- выбирать электрические аппараты управления и защиты;
- выполнять расчёт силовой и осветительной сети напряжением до 1 кВ;
- выбирать сечение кабелей напряжением выше 1 кВ;
- определять и корректировать потребности предприятия в электроэнергии;
- выбирать мощности электродвигателей постоянного и переменного тока.

владеть:

- методами выбора электрооборудования, задействованного в системе электроснабжения;
- методиками расчета потребности предприятия в электроэнергии.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

- СК-9. Знать задачи технологического управления энергохозяйствами предприятий и гражданских зданий как объектов внедрения систем учета электропотребления.

Согласно учебному плану для очной формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 272 часа, из них аудиторных - 144 часа.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблице 1.

Таблица 1.

| Очная форма получения высшего образования | | | | | |
|-------------------------------------------|---------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Курс | Семестр | Лекции, ч. | Лабораторные занятия, ч. | Практические занятия, ч. | Форма текущей аттестации |
| 2 | 4 | 34 | 16 | 22 | экзамен |
| 3 | 5 | 34 | 18 | 20 | экзамен |

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ

Общие вопросы производства, преобразования, передачи и потребления электроэнергии. Общие сведения об электроэнергетических системах

Основные термины, определения и понятия, используемые в электроэнергетике. Производство электроэнергии. Синхронные генераторы. преобразование электроэнергии. Краткая характеристика распределительных устройств. Использование электроэнергии. Понятия о системах электроснабжения. Требования, предъявляемые к системам электроснабжения. Режимы работы энергосистем. Режимы работы нейтрали в зависимости от уровня напряжения.

РАЗДЕЛ 1. ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ГРАФИКИ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Тема 1.1 Приемники и потребители электроэнергии, их классификация

Понятия об электроприемниках и потребителях электроэнергии. Общая классификация потребителей электроэнергии. Структура потребления электроэнергии в Республике Беларусь. Особенности электроснабжения промышленных предприятий и жилых и общественных зданий. Режимы работы по нагреву: продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный. Номинальная (установленная) мощность электроприемников. Номинальные напряжения. Род тока, частота тока. Категории электроприемников по надежности электроснабжения. Удельный расход электроэнергии.

Тема 1.2 Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников

Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников и потребителей электроэнергии: использования, включения, загрузки, максимума и спроса. Максимальная активная мощность.

Тема 1.3 Графики электрических нагрузок

Определение и классификация графиков. Коэффициенты, характеризующие графики нагрузок. Индивидуальные и групповые графики нагрузок. Способы регулирования графиков.

РАЗДЕЛ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тема 2.1 Основные понятия и определения

Основные понятия и определения: установленная мощность, средние, среднеквадратические, максимальные и расчетные электрические нагрузки. Пиковые нагрузки. Уровни определения расчётных электрических нагрузок.

Тема 2.2 Методы определения расчетных электрических нагрузок

Методы определения нагрузок электроприемников: по коэффициенту расчетных нагрузок, по коэффициенту спроса и установленной мощности, по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции, по удельной нагрузке на единицу производственной площади. Статистический метод определения расчетных нагрузок.

Тема 2.3 Определение расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, жилых, общественных и административных зданий

Методы, применяемые при определении электрических нагрузок силовых и осветительных электроприемников промышленных предприятий. Определение электрических нагрузок жилых и общественных зданий. Расчет нагрузок однофазных электроприемников. Определение пиковых нагрузок.

Тема 2.4 Определение расхода электроэнергии

Расчет расхода электроэнергии производственного объекта. Определение расхода электроэнергии силовыми электроприёмниками. Определение расхода электроэнергии световыми приборами. Определение потерь мощности и электроэнергии в линиях электропередачи и трансформаторах.

РАЗДЕЛ 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ДО 1 кВ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Тема 3.1 Назначение и выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ

Основные коммутационные и защитные аппараты напряжением до 1 кВ. Контактторы. Магнитные пускатели. Тепловые реле. Предохранители. Автоматические выключатели. Назначение, устройство, принцип работы и выбор. Принципы защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ от сверхтоков. Обеспечение избирательности защиты.

Тема 3.2 Принципы построения защиты электроприемников

Причины появления сверхтоков в электрических сетях напряжением до 1 кВ. 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 3.3 Режимы нейтрали электроустановок напряжением до 1 кВ

Глухозаземленная и изолированная нейтрали. Системы заземления *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT*, *IT*. Достоинства и недостатки систем заземления. Области применения.

Тема 3.4 Схемы силовых и осветительных цеховых сетей. Схемы распределения электроэнергии в жилых и общественных зданиях

Области применения напряжений 400/230 и 690/400 В. Конструктивное исполнение. Схемы силовых электрических сетей: радиальные, магистральные, смешанные. Схемы силовых осветительных электрических сетей. Классификация электрических сетей напряжением до 1 кВ по конструктивному исполнению. Воздушные линии. Шинопроводы: магистральные, распределительные, троллейные и осветительные. Кабельные линии. Электропроводки. Провода и кабели, применяемые в электрических сетях напряжением до 1 кВ. Распределительные пункты в электрических сетях напряжением до 1 кВ. Электрические сети для электросварочных установок, для передвижных электроприемников. Электрические сети в пожаро- и взрывоопасных зонах. Принципы построения схем электрических сетей зданий. Классификация сетей. Схемы наружных питающих линий. Размещение трансформаторных подстанций. Схемы вводно-распределительных устройств. Схемы питающих линий. Схемы групповой сети. Типовые схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях. Типовые схемы распределения электроэнергии в общественных зданиях.

Тема 3.5 Расчет сетей напряжением до 1кВ

Выбор сечений проводников по допустимому нагреву. Определение сечения нулевых проводников. Расчет электрических сетей напряжением до 1 кВ по потере напряжения. Проверка электрооборудования на термическую и электродинамическую стойкость при токах КЗ. Выбор кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией на напряжение до 1 кВ по термической стойкости.

РАЗДЕЛ 4. ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тема 4.1 Характерные приемники и потребители электроэнергии. Электрические осветительные установки

Электрические источники света. Лампы накаливания. Газоразрядные лампы низкого и высокого давления. Светодиодные источники света. Области применения электрических ламп различных типов. Световые приборы: светильники и прожекторы. Характеристика световых приборов как потребителей электроэнергии. Расчет электрического освещения методом коэффициента использования светового потока.

Тема 4.2 Расчет электрического освещения

Расчёт электрического освещения. Расчёт электрической осветительной сети. Электроснабжение осветительных установок.

Тема 4.3 Электротехнологические установки

Электрические печи и электротермические установки. Электрические печи сопротивления косвенного и прямого нагрева. Индукционные плавильные печи и установки. Дуговые электрические печи. Установки дуговой и контактной электросварки. Преобразовательные установки потребителей электроэнергии. Электролизные установки.

Тема 4.4 Силовые общепромышленные установки. Основные промышленные и непромышленные потребители электроэнергии

Компрессоры, вентиляторы, насосы. Подъемно-транспортные устройства. Краны, кран-балки, тельферы, подъемники. Поточно-транспортные системы. Конвейеры, транспортеры, рольганги, нории, шнеки и т. д. Характеристика силовых общепромышленных установок как потребителей электроэнергии.

Приемники и потребители электроэнергии жилых и общественных зданий. Потребители электроэнергии электрифицированного железнодорожного и городского транспорта. Применение электроэнергии в строительстве.

РАЗДЕЛ 5. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Тема 5.1 Необходимость компенсации реактивной мощности

Основные положения. Реактивная мощность в электрических сетях. Потребители реактивной мощности. Мероприятия по повышению коэффициента мощности, не требующие компенсирующих устройств. Снижение потерь мощности при установке компенсирующих устройств.

Тема 5.2 Источники реактивной мощности

Источники реактивной мощности: статические конденсаторы, синхронные генераторы, двигатели и компенсаторы, статические источники реактивной мощности, компенсационные преобразователи..

Тема 5.3 Расчёт компенсации реактивной мощности

Расчёт компенсации реактивной мощности. Схемы конденсаторных установок и управление ими.

РАЗДЕЛ 6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАПРЯЖЕНИИ ВЫШЕ 1 кВ

Тема 6.1 Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжении выше 1 кВ

Масляные выключатели. Вакуумные выключатели. Выключатели нагрузки. Разъединители внутренней и наружной установки. Назначение, устройство, принцип работы и выбор.

Обеспечение надёжности электроснабжения. Режимы нейтрали в электроустановках выше 1 кВ. Выбор номинального напряжения. Источники питания электроэнергией.

Тема 6.2 Характерные схемы внешнего электроснабжения на напряжении выше 1 кВ. Глубокие вводы

Внешнее электроснабжение при питании предприятий от энергосистемы: с применением РП и понижающей подстанции. Питание от энергосистемы и от собственной электростанции. Системы электроснабжения с применением глубоких вводов.

Тема 6.3 Типовые схемы внутреннего электроснабжения

Типовые схемы внутреннего электроснабжения: радиального, магистрального и смешанного питания. Двойные сквозные магистрали. Встречные магистрали. Выбор схем электроснабжения. Марки и конструкции кабелей напряжением 6-10 кВ. Способы прокладки кабелей. Применение токопроводов в системах электроснабжения. Достоинства и недостатки токопроводов.

Тема 6.4 Выбор сечений проводников систем электроснабжения

Выбор экономически целесообразного сечения жил кабелей 6-10 кВ. Определение сечений жил кабелей по экономической плотности тока. Определение сечений проводников по допустимому нагреву. Выбор сечений жил кабелей по нагреву током короткого замыкания. Выбор и расчёт токопроводов напряжением 6-35 кВ.

РАЗДЕЛ 7. ПИТАЮЩИЕ ПОДСТАНЦИИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ

Тема 7.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

Силовые трансформаторы, применяемые в системах электроснабжения. Типы и конструктивное исполнение силовых трансформаторов. Области применения масляных и сухих трансформаторов. Перегрузочная способность трансформаторов. Выбор числа и мощности трансформаторов.

Тема 7.2 Понизительные подстанции с вторичным напряжением 6-10 кВ и распределительные пункты

Основные положения по выбору схем электрических соединений понизительных подстанций и распределительных пунктов. Электрические схемы подстанций, распределительных пунктов.

Тема 7.3 Цеховые трансформаторные подстанции

Цеховые трансформаторные подстанции (ТП) с устройствами ввода высокого напряжения и распределительными устройствами напряжением 6-10 кВ. Структурные и электрические схемы ТП с одним, двумя и тремя трансформаторами. Комплектные ТП.

Тема 7.4 Выбор места расположения питающих подстанций и распределительных пунктов

Картограммы электрических нагрузок и расходов электроэнергии. Определение условного центра электрических нагрузок. Выбор места расположения распределительных пунктов, цеховых трансформаторных подстанций.

РАЗДЕЛ 8. РЕЖИМЫ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тема 8.1 Регулирование напряжения

Задачи и способы регулирования напряжения в системах электроснабжения. Способы регулирования напряжения коэффициентом трансформации трансформаторов, автотрансформаторов и специальными регуляторами. Способы регулирования напряжения изменением параметров сети или компенсацией падения напряжения в сети. Использование компенсирующих устройств для регулирования напряжения. Регулирование напряжения при резкопеременных нагрузках. Определение потерь напряжения в электрических сетях напряжением 6-10 кВ. Добавки напряжения.

Тема 8.2 Качество электроэнергии

Общие сведения. Показатели качества электроэнергии. Анализ влияния качества электроэнергии на работу электроприёмников.

РАЗДЕЛ 9. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тема 9.1 Учёт и экономия электроэнергии

Тарифы на электроэнергию и плата за электропотребление. Учёт и контроль потребляемой электроэнергии. Автоматизация учёта электропотребления.

Тема 9.2 Основные пути экономии электроэнергии

Применение энергоэффективных технологий и оборудования. Снижение потерь электроэнергии в электрооборудовании и элементах системы электроснабжения. Рациональные режимы работы оборудования. Мероприятия по экономии электроэнергии на промышленных предприятиях. Автоматизация электроустановок жилых и общественных зданий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
очная форма получения высшего образования

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы занятия | Количество аудиторных часов | | | | | Количество часов УСП | Форма контроля знаний |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|----------------------|----------------------------|
| | | Лекции | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | 4 семестр | | | | | | | |
| | Введение. Общие вопросы производства, преобразования, передачи и потребления электроэнергии. Общие сведения об электроэнергетических системах | 2 | | | | | | |
| 1 | Потребители электроэнергии и графики нагрузок промышленных предприятий и гражданских зданий | | | | | | | |
| 1.1 | Приемники и потребители электроэнергии, их классификация | 2 | | | | | | |
| 1.2 | Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников | 2 | 2 | | | | | |
| 1.3 | Графики электрических нагрузок | 2 | 2 | | 2 | | | Защита лабораторной работы |
| 2 | Определение электрических нагрузок и расхода электроэнергии | | | | | | | |
| 2.1 | Основные понятия и определения | 2 | | | | | | |
| 2.2 | Методы определения расчетных электрических нагрузок | 2 | 2 | | | | | |
| 2.3 | Определение расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, жилых, общественных и административных зданий | 2 | 4 | | | | | Контрольная работа |
| 2.4 | Определение расхода электроэнергии | 2 | 2 | | | | | |
| 3 | Распределение электроэнергии на напряжении до 1 кВ. Электрические аппараты управления и защиты | | | | | | | |
| 3.1 | Назначение и выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ | 2 | 4 | | 10 | | | Защита лабораторной работы |
| 3.2 | Принципы построения защиты электроприемников | 2 | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----|---|---|----------------------------|
| 3.3 | Режимы нейтрали электроустановок напряжением до 1 кВ | 2 | | | | | | |
| 3.4 | Схемы силовых и осветительных цеховых сетей. Схемы распределения электроэнергии в жилых и общественных зданиях. Комплектные РУ напряжением до 1 кВ. | 2 | 2 | | 2 | | | Защита лабораторной работы |
| 3.5 | Расчет сетей напряжением до 1кВ | 2 | 2 | | | | | |
| 4 | Характерные приемники и потребители электроэнергии | | | | | | | |
| 4.1 | Электрические осветительные установки | 2 | | | 2 | | | Защита лабораторной работы |
| 4.2 | Расчет электрического освещения | 2 | 2 | | | | | |
| 4.3 | Электротехнологические установки | 2 | | | | | | |
| 4.4 | Силовые общепромышленные установки. Основные промышленные и непромышленные потребители электроэнергии | 2 | | | | | | |
| | Итого за семестр | 34 | 22 | | 16 | | | Экзамен |
| | 5 семестр | | | | | | | |
| 5 | Компенсация реактивной мощности | | | | | | | |
| 5.1 | Необходимость компенсации реактивной мощности | 2 | | | | | | |
| 5.2 | Источники реактивной мощности | 2 | | | 2 | | | Защита лабораторной работы |
| 5.3 | Расчёт компенсации реактивной мощности | 2 | 2 | | | | | |
| 6 | Распределение электроэнергии на напряжении выше 1 кВ | | | | | | | |
| 6.1 | Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжении выше 1 кВ | 2 | 6 | | 6 | | | Защита лабораторной работы |
| 6.2 | Характерные схемы внешнего электроснабжения на напряжении выше 1 кВ. Глубокие вводы. Оперативные переключения и вывод электрооборудования в ремонт. | 2 | | | 2 | | | Защита лабораторной работы |
| 6.3 | Типовые схемы внутреннего электроснабжения | 4 | 2 | | 2 | | | Защита лабораторной работы |
| 6.4 | Выбор сечений проводников систем электроснабжения | 4 | 6 | | | | | |
| 7 | Питающие подстанции и распределительные пункты | | | | | | | |
| 7.1 | Выбор числа и мощности трансформаторов | 2 | 2 | | | | | |
| 7.2 | Понижительные подстанции с вторичным напряжением 6-10 кВ и распределительные пункты | 2 | | | | | | |
| 7.3 | Цеховые трансформаторные подстанции | 2 | | | | | | |
| 7.4 | Выбор места расположения питающих подстанций и распределительных пунктов | 2 | | | | | | |
| 8 | Режимы напряжения в сетях промышленных предприятий. качество электроэнергии | | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|---|----|---|---|----------------------------|--|
| 8.1 | Регулирование напряжения | 2 | 2 | | 2 | | | Защита лабораторной работы | |
| 8.2 | Качество электроэнергии | 2 | | | | | | | |
| 9 | Рациональное использование электроэнергии | | | | | | | | |
| 9.1 | Учёт и экономия электроэнергии. Автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии. | 2 | | | 4 | | | Защита лабораторной работы | |
| 9.2 | Основные пути экономии электроэнергии | 2 | | | | | | | |
| | Итого за семестр | 34 | 20 | | 18 | | | экзамен | |
| | Итого | 68 | 42 | | 34 | | | | |
| | Всего аудиторных часов | 220 | | | | | | | |

Информационно-методическая часть

Список литературы

Основная литература

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 589 с.

Дополнительная литература

5. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения / Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 382 с.
6. Кудрин, Б.И. Электрооборудование промышленности / Б.И. Кудрин, А.Р. Минеев. – М.: Изд. Центр «Академия», 2008. – 432 с.
7. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин, В.В. Прокопчик. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 358 с.
8. Мукосеев, Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.Л. Мукосеев. – М.: Энергия, 1973. – 84 с.
9. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
10. Козловская, В.Б. Электрическое освещение / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: «Техноперспектива», 2011. – 543 с.
11. Тульчин, И.К. Электрические сети жилых и общественных зданий / И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.
12. Князевский, Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин. – М.: Высшая школа, 1986. – 400 с.
13. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов / Е.А. Конюхова. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 320 с.
14. Миронов, Ю.М. Электрооборудование и электроснабжение электротермических, плазменных и лучевых установок / Ю.М. Миронов, А.Н. Миронова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 376 с.
15. Ровенский, В.Б. Электрооборудование металлорежущих станков и автоматических линий / В.Б. Ровенский, В.А. Игнатов. – М.: Высшая школа, 1983. – 151 с.
16. Зимин, Е.Н. Электрооборудование промышленных предприятий: в 2 ч. / Е.Н. Зимин, И.И. Чувашов. – М.: Стройиздат, 1977. – Ч.1: Автоматизированный электропривод и электрооборудование промышленных механизмов. – 431 с.
17. Бунич, Я.М. Электрооборудование промышленных предприятий: в 2 ч. / Я.М. Бунич, А.Н. Глазков, К.А. Кастовский. – М.: Стройиздат, 1981. – Ч.2: Специальное электрооборудование промышленных установок и заводов. – 391 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 по отдельным темам;
- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена.

Перечень практических занятий

1. Выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ.
2. Определение коэффициентов использования, включения, загрузки, максимума и спроса силовых электроприемников.
3. Определение средних и среднеквадратических нагрузок электроприемников и потребителей электроэнергии. Определение электрических нагрузок методом коэффициента расчетной мощности на различных ступенях распределения энергии.
4. Определение электрических нагрузок методом коэффициента спроса, по удельным показателям. Определение электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей.
5. Расчёт электрических нагрузок на шинах до 1 кВ трансформаторных подстанций.
6. Определение расчётных нагрузок кабельных линий электропередачи на шинах 6(10) кВ РП и понизительных подстанций.
7. Расчёт потерь мощности и электроэнергии в силовых трансформаторах, линиях электропередачи и токоограничивающих реакторах.
8. Расчёт электрической сети напряжением до 1 кВ.
9. Определение расхода электроэнергии.
10. Расчет электрического освещения методом коэффициента светового потока.
11. Определение электрических нагрузок осветительных установок.
12. Выбор сечения проводников по допустимому нагреву. Расчет сетей по допустимой потере напряжения.
13. Проверка электрооборудования на термическую и электродинамическую стойкость при токах КЗ.
14. Выбор сечений проводников систем электроснабжения.
15. Выбор количества и мощности силовых трансформаторов.
16. Компенсация реактивной мощности.
17. Выбор схемы электроснабжения предприятия на напряжении выше 1 кВ.

18. Определение сечений жил кабелей напряжением 6(10) кВ по экономическим соображениям, допустимому нагреву и термической стойкости.
19. Расчёт электрических сетей напряжением выше 1 кВ по рабочим и послеаварийным режимам.
20. Расчёт потерь напряжения в электрических сетях и добавок напряжения цеховых трансформаторов.
21. Определение рациональной загрузки силовых трансформаторов.

Перечень тем лабораторных работ

1. Вводное занятие, инструктаж по охране труда.
2. Назначение и выбор коммутационных и защитных аппаратов напряжением до 1 кВ.
3. Изучение плавких предохранителей.
4. Изучение автоматических выключателей.
5. Изучение контакторов и магнитных пускателей.
6. Изучение тепловых реле.
7. Изучение максимальных токовых реле.
8. Изучение реле времени.
9. Изучение комплектных РУ напряжением до 1 кВ.
10. Потребители реактивной мощности.
11. Изучение комплектных шинопроводов напряжением до 1 кВ.
12. Изучение графиков электрических нагрузок.
13. Электрические осветительные установки
14. Изучение магистральных, распределительных, троллейных и осветительных шинопроводов.
15. Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ. Принципы построения схем распределения электроэнергии на напряжении выше 1 кВ
16. Комплектные распределительные устройства напряжением выше 1 кВ.
17. Потребители реактивной мощности в системах электроснабжения.
18. Оперативные переключения и вывод электрооборудования в ремонт.
19. Автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии.
20. Регулирование напряжения методами продольной и поперечной компенсации.
21. Режимы нейтрали в системах электроснабжения.

Тематика рефератов

Энергосберегающее и инновационное электрооборудование, схемы электроснабжения промышленных и коммунально-бытовых потребителей, схемы электрических осветительных сетей, схемы управления технологическими установками, особенности электроснабжения приемников и потребителей электроэнергии разных отраслей промышленности и т.п.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. На какие категории делятся электроприёмники по надёжности электроснабжения?
2. Какие электроприемники относятся к 1, 2 и 3-й категории по надёжности электроснабжения?
3. Назовите примеры особой группы электроприемников 1-й категории?
4. Какие функции выполняют автоматические выключатели?
5. Для чего применяются плавкие предохранители?
6. Для чего у магнитного пускателя есть тепловое реле?
7. Какими методами выполняются расчёты электрических нагрузок силовых и осветительных электроприёмников?
8. Какие существуют схемы распределительных силовых внутрицеховых сетей?
9. Какими достоинствами и недостатками обладают магистральные схемы с применением шинопроводов?
10. Что такое шинопровод? Когда целесообразно применять магистральные, распределительные, троллейные и осветительные шинопроводы?
11. По каким условиям выбираются сечения проводников силовых и осветительных сетей напряжением до 1 кВ?
12. Какие отклонения напряжения допускаются на зажимах электроприёмников в нормальном режиме?
13. Какими способами прокладываются проводники силовых и осветительных сетей?
14. Какое минимальное сечение фазных проводников из алюминия и меди допустимо в электрических сетях напряжением до 1 кВ зданий?
15. Использование расходных характеристик на промышленных предприятиях.
16. Статистический метод определения расчетных нагрузок.
17. Расчет нагрузок однофазных электроприемников.
18. Классификация электрических сетей напряжением до 1кВ по конструктивному исполнению.
19. Воздушные линии. Кабельные линии. Электропроводки.
20. Провода и кабели, применяемые в осветительных сетях напряжением до 1 кВ.
21. Светодиодные источники света. Световые приборы: светильники и прожекторы.
22. Характеристика световых приборов как потребителей электроэнергии.
23. Расчеты за потребленную электроэнергию. Расчетный и технический учет электроэнергии на промышленных предприятиях.
24. Приборы и системы учета и контроля электропотребления.
25. Что называется энергетической системой, электрической системой и системой электроснабжения?

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов.