

А. В. Куксин

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.311

ББК 31.281

К89

Р е ц е н з е н т:

заведующая кафедрой электрооборудования Липецкого
государственного технического университета
доктор технических наук *В. И. Зацепина*

Куксин, А. В.

К89 Электроснабжение промышленных предприятий :
учебное пособие / А. В. Куксин. – Москва ; Вологда :
Инфра-Инженерия, 2021. – 156 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0524-9

Приведена система электроснабжения промышленного предприятия. Описаны приемники электрической энергии промышленных предприятий, внутрицеховые электрические сети. Рассмотрены вопросы внутризаводского электроснабжения, компенсации реактивной мощности, а также короткого замыкания в системах электроснабжения.

Для студентов электроэнергетических направлений подготовки, а также специалистов в области электроэнергетики и электротехники.

УДК 621.311

ББК 31.281

ISBN 978-5-9729-0524-9 © Куксин А. В., 2021

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

Содержание

| | |
|---|----|
| Список основных сокращений | 5 |
| Введение | 6 |
| Термины и определения | 7 |
| 1. Система электроснабжения промышленного предприятия | 13 |
| 1.1. Особенности и основные требования к системам электроснабжения промышленных предприятий | 14 |
| 1.2. Основные положения технико-экономических расчетов в электроснабжении | 16 |
| 1.3. Напряжения электрических сетей и область их применения | 18 |
| 1.4. Режимы нейтрали электрических сетей | 22 |
| 2. Приемники электрической энергии промышленных предприятий | 28 |
| 2.1. Характеристика электроприемников по надежности электроснабжения | 28 |
| 2.2. Режимы работы электроприемников | 30 |
| 2.3. Электрические нагрузки и их графики | 35 |
| 2.4. Показатели, характеризующие приемники ЭЭ и их графики нагрузки | 42 |
| 2.5. Методы расчета электрических нагрузок | 47 |
| 2.6. Расчет однофазных нагрузок | 50 |
| 3. Внутрицеховые электрические сети | 53 |
| 3.1. Классификация помещений и наружных установок по окружающей среде | 54 |
| 3.2. Структура цеховых электрических сетей | 58 |
| 3.3. Основные схемы цеховых трансформаторных подстанций | 62 |
| 3.4. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов | 66 |

| | |
|--|------------|
| 3.5. Конструктивное выполнение внутрицеховых электрических сетей | 68 |
| 3.6. Основное электрооборудование цеховых сетей | 74 |
| 3.7. Расчет и выбор сетей и аппаратов защиты напряжением до 1000 В | 84 |
| 3.8. Расчет сетей осветительных электроустановок | 94 |
| 4. Внутризаводское электроснабжение | 97 |
| 4.1. Назначение и особенности электрических сетей внутризаводского электроснабжения | 97 |
| 4.2. Схемы и основное электрооборудование главных понизительных подстанций | 105 |
| 4.3. Картограмма нагрузок | 113 |
| 5. Компенсация реактивной мощности | 115 |
| 5.1. Средства компенсации реактивной мощности | 120 |
| 5.2. Основные расчеты при компенсации реактивной мощности | 126 |
| 5.3. Конструктивное выполнение и размещение компенсирующих устройств | 129 |
| 6. Короткие замыкания в системах электроснабжения | 137 |
| 6.1. Основные понятия и соотношения величин токов короткого замыкания | 137 |
| 6.2. Электродинамическое и термическое действия токов короткого замыкания | 145 |
| Заключение | 148 |
| Библиографический список | 149 |
| Приложение А. Коэффициенты использования и коэффициенты мощности некоторых электроприемников промышленных предприятий | 151 |
| Приложение Б. Коэффициент спроса по некоторым предприятиям | 153 |

Список основных сокращений

ПУЭ – правила устройства электроустановок
ЭЭ – электрическая энергия
ЭУ – электроустановка
ЭП – электроприемник
ИП – источник питания
РУ – распределительное устройство
ОРУ – открытое распределительное устройство
ЗРУ – закрытое распределительное устройство
КРУ – комплектное распределительное устройство
КРУН – КРУ наружной установки
ТН – трансформатор напряжения
СВ – секционный выключатель
Р – разъединитель
РП – распределительный пункт
ГПП – главная понизительная подстанция
ТП – трансформаторная подстанция
РУНН – распределительное устройство низкого напряжения
ШР – шкаф распределительный
ТЭО – технико-экономическое обоснование
ЭЭС – электроэнергетическая система
СЭС – система электроснабжения
ЭСПП – электроснабжение промышленных предприятий
КТП – комплектная трансформаторная подстанция
КТПН – КТП наружной установки
ШМА – шинопровод магистральный алюминиевый
ШРА – шинопровод распределительный алюминиевый
ШОС – шинопровод осветительный
ЦЭН – центр электрических нагрузок
ИРМ – источник реактивной мощности
ККУ – комплектная конденсаторная установка

Введение

Динамичность технологических процессов и закономерное совершенствование производства требуют от системы электроснабжения современных промышленных предприятий гибкости, простоты и надежности. При этом промышленные объекты различных отраслей хозяйства имеют свои, зачастую уникальные требования к проектированию системы электроснабжения.

Учебный план подготовки бакалавров направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки: «Электроэнергетические системы и сети» содержит дисциплину «Электроснабжение».

Данное учебное пособие содержит основной материал, позволяющий получить минимальный набор теоретических знаний по электроснабжению. В учебном пособии рассматриваются: система электроснабжения промышленного предприятия, приемники электрической энергии промышленных предприятий, внутрицеховые электрические сети, внутризаводское электроснабжение, компенсация реактивной мощности, а также короткие замыкания в системах электроснабжения.

Студентам необходимо: овладеть методиками расчета электрических нагрузок на различных уровнях электроснабжения промышленных предприятий, расчета и выбора сетей и аппаратов защиты внутрицехового электроснабжения; знать схемы и основное электрооборудование внутризаводского электроснабжения, а также уметь решать вопросы по повышению надежности, безопасности и экономичности их работы.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», и соответствует программе дисциплины «Электроснабжение».

Основные термины и определения

Важнейшие термины, определения и сокращения установлены Федеральными законами, стандартами «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и обязательны для применения в документации всех видов научно-технической, учебной и справочной литературе, а также при выполнении расчетных заданий, курсовых работ и выпускных квалификационных работ в ВУЗах.

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

Электроснабжение – обеспечение потребителей электрической энергией.

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

Централизованное электроснабжение – электроснабжение потребителей ЭЭ от энергосистемы.

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения ЭЭ, состоящая из подстанций и распределительных устройств (РУ), соединенных линиями электропередачи (ЛЭП), и работающая на определенной территории.

Электрическая сеть предприятия объединяет понижительные и преобразовательные подстанции, распределительные пункты (РП), электроприемники (ЭП) и ЛЭП на территории предприятия.

Распределительное устройство – устройство, предназначенное для приема и распределения ЭЭ, содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные прибо-

ры. РУ бывают: открытым (ОРУ), закрытым (ЗРУ) и комплексными (КРУ).

Источник питания (ИП) – РУ генераторного напряжения электростанции или РУ вторичного напряжения понизительной подстанции энергосистемы или подстанции глубокого ввода 35–220 кВ промышленного предприятия, его узловая распределительная подстанция, главная понизительная подстанция (ГПП), собственная теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), к которым присоединены распределительные сети предприятия.

Подстанция – электроустановка, служащая для распределения и преобразования ЭЭ, состоящее из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений. Подстанции бывают трансформаторными, преобразовательными, распределительными в зависимости от преобладания той или иной функции.

Узловая распределительная подстанция – центральная подстанция предприятия на напряжение 35–220 кВ, получающая энергию от энергосистемы и распределяющая ее на том же напряжении по главным понизительным подстанциям или подстанциям глубокого ввода на территории предприятия.

Главная понизительная подстанция – трансформаторная подстанция, получающая питание непосредственно от энергосистемы на напряжениях 35 кВ и выше, и распределяющая энергию на более низком напряжении по всему предприятию или отдельно его району.

Глубокий ввод – система электроснабжения с приближением высшего напряжения (35–220 кВ) к электроустановкам потребителей с минимальным количеством ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

Подстанции глубокого ввода размещаются на территории предприятия рядом с наиболее крупными объектами потребле-

ния ЭЭ и получают питание от энергосистемы, узловой распределительной подстанции, ГПП или ТЭЦ предприятия, и выполняются по упрощенным схемам первичной коммутации.

Распределительный пункт – распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения ЭЭ на напряжение 6–20 кВ. РП может совмещаться с трансформаторной или преобразовательной подстанцией, обслуживающей прилегающих к нему потребителей.

Цеховая трансформаторная подстанция (ТП) – подстанция, преобразующая ЭЭ на пониженное напряжение (до 1000 В) и непосредственно питающая ЭП одного или нескольких прилегающих цехов, либо части большого цеха. В ряде случаев от этих же подстанций питаются близкорасположенные потребители высшего напряжения.

Пристроенная подстанция – подстанция, непосредственно прилегающая к основному зданию.

Встроенная подстанция – закрытая подстанция, вписанная в контур основного здания.

Внутрицеховая подстанция – подстанция, расположенная внутри производственного здания, открыто или в отдельном закрытом помещении.

Отдельностоящая подстанция – подстанция, расположенная отдельно от основных зданий.

Столбовая (мачтовая) трансформаторная подстанция – открытая ТП, все оборудование которой установлено на конструкциях или опорах воздушных линий (ВЛ) на высоте, не требующей ее ограждения.

Электроустановка (ЭУ) – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, преобразования, передачи, накопления, распределения ЭЭ и преобразования ее в другие виды энергии

(электрическая подстанция, ЛЭП, распределительная подстанция, конденсаторная батарея и др.).

Приемник электроэнергии (ЭП) – устройство, аппарат, агрегат, механизм, в котором происходит преобразование ЭЭ в другой вид энергии для ее использования (электродвигатели, электропечи, установки электроосвещения, электростатического и электромагнитного поля и др.).

Потребитель электроэнергии – электроприемник или их группа, объединенные технологическим процессом и размещающиеся на определенной территории.

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

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

Независимый источник питания – ИП, на котором сохраняется напряжение в послеаварийном режиме в регламентированных пределах при исчезновении его на другом или других источниках питания. К числу независимых ИП относятся две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих условий:

1. Каждая из секций или систем шин в свою очередь имеет питание от независимого ИП;

2. Секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций (систем) шин.

Токоспровод – устройство для подачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных и изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций.

Шинопровод – жесткий токопровод до 1000 В, поставляемый комплектными секциями.

Кабельная линия (КЛ) – линия для передачи ЭЭ, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными муфтами (заделками) и крепежными деталями.

Кабельное сооружение – сооружение, предназначенное для размещения кабельных линий: кабельные тоннели, каналы, короба, блоки, шахты, этажи, двойные полы, эстакады, галереи, камеры и т.д.

Воздушные линии – устройства для передачи ЭЭ по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленных с помощью изоляторов, и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях (мостах, путепроводах и т. п.).

Электропроводка – совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими защитными конструкциями и деталями.

Распределительное устройство низкого напряжения (РУНН) – совокупность конструкций, аппаратов и приборов, предназначенных для приема и распределения ЭЭ напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока.

Вводное устройство – совокупность конструкций, аппаратов и приборов, устанавливаемых на вводе питающей линии в здание или его обособленную часть. Вводное устройство, включающее в себя так же аппараты и приборы отходящих линий, называется вводным распределительным устройством.

Главный распределительный щит – распределительный щит, через который снабжается электроэнергией все здание или его обособленная часть.

Шкаф распределительный (ШР) – устройство напряжением до 1000 В, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты (или только аппараты защиты) для отдельных ЭП или их группы (электродвигателей, групповых щитков).

Групповой щиток – устройство, в котором устанавливаем аппараты защиты и коммутационные аппараты (или только коммутационные аппараты) для отдельных групп светильников, штепсельных розеток и стационарных электроприемников.

1. Система электроснабжения промышленного предприятия

Системой электроснабжения (СЭС) называют совокупность взаимосвязанных электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Согласно ПУЭ, потребителем электроэнергии (ЭЭ) называется электроприемник или их группа, объединенные технологическим процессом и размещающиеся на определенной территории. К потребителям электроэнергии относятся предприятия, организации, территориально обособленные цеха, строительные площадки, квартиры и т. д. (по ГОСТ 13109-97).

Систему электроснабжения промышленных предприятий (ЭСПП) условно разделяют на три подсистемы (рис. 1.1).

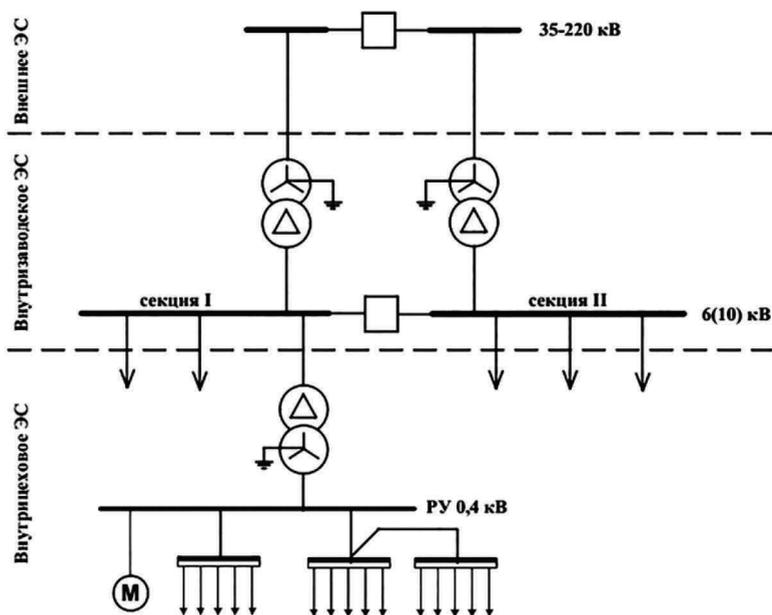


Рис. 1.1. Подсистемы электроснабжения промышленного предприятия

1. Внешнее электроснабжение – это электрические сети и питающие линии напряжением 35–220 кВ, соединяющие ТП энергосистемы с приемными подстанциями предприятия (например, ГПП).

2. Внутривозовское электроснабжение – это приемная подстанция предприятия, собственная ТЭЦ и комплекс электрических распределительных сетей, расположенных на территории предприятия и осуществляющих прием, распределение и передачу ЭЭ к пунктам питания (РП, ТП) на низшем напряжении приемных подстанций предприятия – 6–10 кВ.

3. Внутрицеховое электроснабжение – это комплекс внутрицеховых ТП, распределительных сетей, пунктов питания (РП или ШР) и сетей непосредственного питания ЭП напряжением до 1000 В.

1.1. Особенности и основные требования к системам электроснабжения промышленных предприятий

Система ЭСПП, как часть энергосистемы, в энергетическом плане более простая (более низкие напряжения, меньшая мощность и протяженность линий, отсутствие замкнутых контуров и др.) и более сложная в плане использования и преобразования ЭЭ в технологических целях промышленного производства. Электроприемники как электрическая часть технологических агрегатов входят неотъемлемыми элементами в систему ЭСПП и во многом определяют работу этой системы и ее параметры.

Электроэнергетика как жизнеобеспечивающая отрасль промышленности обладает рядом особенностей, выделяющих ее из других отраслей промышленности.

Первая особенность электроэнергетики – неразрывность и практически полное совпадение во времени процессов

производства, распределения и потребления, т. е. выполняется баланс:

$$P_{Г} = P_{\text{ПОТР}} + P_{\text{С.Н.}} = \Delta P, \quad (1.1)$$

$$Q_{Г} = Q_{\text{ПОТР}} + Q_{\text{С.Н.}} = \Delta Q, \quad (1.2)$$

где $P_{Г}$, $Q_{Г}$ – вырабатываемая источником питания (ИП) активная и реактивная мощности;

$P_{\text{ПОТР}}$, $Q_{\text{ПОТР}}$ – потребленная активная и реактивная мощности;

$P_{\text{С.Н.}}$, $Q_{\text{С.Н.}}$ – потребленная активная и реактивная мощность на собственные нужды ИП;

ΔP , ΔQ – потери активной и реактивной мощности во всех звеньях энергосистемы.

Вторая особенность – это относительная быстрота протекания переходных процессов в ней. Волновые процессы совершаются в тысячные доли секунды. Это процессы, связанные с короткими замыканиями (КЗ), включениями и отключениями, изменениями нагрузки, нарушениями устойчивости в системе.

Третья особенность – обеспечение ЭЭ всех отраслей промышленности, отличающихся технологией производства, способами преобразования ЭЭ в другие виды энергии, многообразием ЭП.

Особенности энергетики обуславливают особые требования к системе ЭСПП:

1. Быстрота протекания переходных процессов требует обязательного применения в системе ЭСПП специальных автоматических устройств, основное назначение которых – обеспечение функционирования системы ЭСПП, заключающееся в передаче ЭЭ от ИП к месту потребления в необходимом количестве и соответствующего качества;