

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ЗРУ — закрытое распределительное устройство
ВН — высокое напряжение
ДВС — двигатель внутреннего сгорания
ДГУ — дизель-генераторная установка
ДЭС — дизельная электростанция
ИП — источник питания
КРУ — комплектное распределительное устройство внутренней установки
КРУН — комплектное распределительное устройство наружной установки
ЛЭП — линия электропередачи
МЭС — мобильная электростанция
НН — низкое напряжение
ОРУ — открытое распределительное устройство
ОС — объект строительства
ПВ — продолжительность включения
ПКР — повторно-кратковременный режим
ПП — преобразовательная подстанция
ПР — пункт распределительный (в сетях напряжением до 1 кВ)
ПСП — предприятие строительного производства
ПЭЭ — потребитель электрической энергии
РП — распределительный пункт
РУ — распределительное устройство
РЭС — районная электрическая сеть
СИП — самонесущие изолированные провода
СП — строительная площадка
СЭП — система электропотребления
СЭС — система электроснабжения
ТВЧ — ток высокой частоты
ТП — трансформаторная подстанция
ТЭН — трубчатый электронагреватель
ЦРП — центральный распределительный пункт
ЭМТ — электромагнитный тормоз
ЭП — электроприемник
ЭС — электрическая сеть
ЭСП — электрическая сеть строительной площадки
ЭУ — электроустановка

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выпуск учебной литературы для подготовки специалистов с высшим и средним профессиональным образованием резко сократился. Такой участи не избежали и электротехнические специальности. В последнее время были изданы следующие книги: Кудрин Б. И. «Электроснабжение промышленных предприятий» (учебник для вузов); Конюхова Е. А. «Электроснабжение объектов» (учебник для образовательных учреждений СПО). В 2010 году выпущена в качестве учебного пособия книга Щербакова Е. Ф., Александрова Д. С., Дубова А. Л. «Электроснабжение и электропотребление на предприятиях». Она предназначена для восполнения недостатка учебной литературы и ориентирована на подготовку специалистов по специальности «Электроснабжение (по отраслям)» для промышленных предприятий. Учебная дисциплина «Электроснабжение» изучается также студентами других родственных специальностей.

В настоящем учебном издании, написанном на базе «Электроснабжения и электропотребления на предприятиях», рассматриваются общие вопросы электроснабжения и электропотребления для объектов строительства, вспомогательных предприятий строительного производства. Вопросами использования электрической энергии на строительстве должны владеть специалисты строительных специальностей, организующие строительные производства, отвечающие за рациональное использование материалов и энергетических ресурсов, за качество работ (например, бетонирование с использованием электропрогрева бетона).

В пособии рассматриваются вопросы электропривода строительных машин и механизмов, электронагрева в строительном производстве, электрической сварки и термической обработки металлов, электроосвещения.

При написании рукописи материал был распределен следующим образом: Щербаков Е. Ф. — главы 1, 6, 9, 10; Щербаков Е. Ф., Дубов А. Л. — главы 7, 8, 12...14; Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. — главы 11, 13, 15.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам рукописи доктору техн. наук, проф. Кузнецову А. В., канд. техн. наук, доц. Садриеву Р. М. за ценные замечания, учтенные при доработке рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия нашла широкое применение во всех сферах человеческой деятельности из-за способности преобразования ее в другие виды.

Потребителями электрической энергии (ПЭЭ) в строительстве являются строительные площадки, вспомогательные предприятия по производству бетона, раствора, лакокрасочных покрытий, ремонтные цеха, осветительные и бытовые установки. Этих потребителей будем называть предприятиями строительного производства (ПСП). Потребители электрической энергии получают ее по распределительным сетям от энергетических систем, от систем электроснабжения промышленных предприятий и городов, к которым примыкают строительные площадки, и собственных электростанций. Электроснабжение объектов строительства (ОС) в основном осуществляется от трансформаторных подстанций (ТП). На ОС потребителями электроэнергии являются строительно-монтажные краны, экскаваторы, станки в ремонтных мастерских. Строительные площадки (СП) делятся на крупные (строительство крупных предприятий или их комплексов), средние (строительство средних предприятий), мелкие (строительство жилых зданий, объектов социально-культурного назначения).

Электроприемниками (ЭП) являются электродвигатели приводов строительных машин и механизмов, технологические установки электропрогрева бетона, нагреватели, сварочные агрегаты, выпрямительные устройства, высокочастотные установки, электрические лампы осветительных установок, радиоэлектронная аппаратура.

Все приемники могут быть включены в распределительную сеть одного напряжения или в электрические сети (ЭС) разных напряжений.

Электрические сети строительных площадок (ЭССП) и предприятий по производству строительных материалов могут быть постоянного и временного использования. Они должны обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии;
- безопасность электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок;
- экономичность, т. е. снижение затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок;
- изменение конфигурации сетей в связи с изменением технологии строительного производства;
- снижение потерь электроэнергии в сетях;
- экологичность, т. е. отсутствие вредного влияния на окружающую среду.

Строительство новых и реконструкция действующих предприятий осуществляются на базе применения прогрессивной технологии, современного электрифицированного оборудования, машин и механизмов.

Электрические сети предприятий по производству строительных материалов относятся к сетям постоянного использования, и на них распространяются требования к сетям промышленных предприятий. Технологические процессы на этих предприятиях в основном должны быть автоматизированы.

ЭСПП могут быть сетями постоянного и временного использования. ЭСПСП от подстанции или районных сетей (РЭС) энергосистемы относятся к сетям постоянного использования. От ТП строительной площадки электрические сети, как правило, являются временными.

По надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории.

К *первой категории* относятся ЭП и комплексы электроприемников, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой значительный ущерб, повреждение

основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство технологического процесса. Эти приемники должны иметь возможность обеспечения электроэнергией не менее чем от двух независимых источников питания. Нарушение их электроснабжения допускается только на время автоматического восстановления электроснабжения от второго источника.

Внутри первой категории выделяется особая группа электроприемников. К ней относятся наиболее ответственные ЭП и их комплексы, бесперебойное электроснабжение которых необходимо для поддержания технологического процесса в рабочем режиме, пусть даже со сниженной производительностью, или для безаварийного останова технологического процесса с целью предотвращения угрозы для жизни людей, взрывов, пожаров, аварий на технологическом оборудовании. Эти приемники в нормальном режиме работы должны иметь возможность обеспечения электроэнергией не менее чем от трех независимых источников питания. Нарушение их электроснабжения допускается только на время автоматического восстановления электроснабжения.

Ко *второй категории* относятся ЭП и их комплексы, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недовыпуску продукции, простоям рабочих и механизмов. Они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания. Перерыв в электроснабжении допускается на время, необходимое для автоматического и оперативного переключения на второй источник.

К *третьей категории* относятся ЭП и их комплексы, не попадающие под определения первой и второй категорий. Электроснабжение их может осуществляться от одного источника питания. Перерыв электроснабжения допускается на время проведения восстановительных работ, но не более одних суток.

Потребители электроэнергии по надежности и бесперебойности электроснабжения классифицируются в зависимости от категории надежности ЭП, входящих в состав потребителей. При этом учитывается преимущественное наличие ЭП той или иной категории.

ЭССП представляет собой совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящих из трансформаторных подстанций и распределительных устройств, соединенных электрическими линиями, обеспечивающими их связь с приемниками электроэнергии.

Электрические сети различаются по роду тока, напряжению, режиму нейтрали, конструктивным признакам. ЭС делят на сети переменного и постоянного тока. В основном сети выполняются по системе трехфазного переменного тока частотой 50 Гц. Эта система позволяет осуществлять трансформацию электроэнергии и передачу ее на дальние расстояния. В сетях переменного тока широко применяются однофазные ответвления к однофазным электроприемникам. В ЭС могут включаться установки повышенной (до 10 кГц) и высокой (выше 10 кГц) частоты с целью обеспечения надежной работы отдельных технологических установок (нагрев металла под закалку, ковку, штамповку, плавка металлов). Для электроснабжения отдельных технологических установок (электролизных, гальванических, электроприводов подъемно-транспортных механизмов, станков) необходим постоянный ток. Для преобразования служат двигатели-генераторы, выпрямители.

В ЭССП применяется в основном напряжение 380/220 В, относящееся к напряжению до 1 кВ (низкого напряжения), и напряжения 6, 10, 35 и 110 кВ, относящиеся к напряжению выше 1 кВ (высокого напряжения).

В ЭССП линии электропередач (ЛЭП) могут быть воздушными и кабельными.

ЭС и электроустановки в системах электроснабжения (СЭС) могут быть с заземленной или изолированной нейтралью.

По электрическим сетям от источников к ЭП передается не только активная энергия (мощность), которая преобразуется в другие виды, но и реактивная мощность. Передача реактивной мощности по ЭССП приводит к повышенным потерям электроэнергии в сетях и к дополнительным затратам на оплату электроэнергии.

При проектировании и реконструкции систем электроснабжения объектов необходимо знать электрические нагрузки в электрических сетях.

На основании расчета электрических нагрузок выполняется расчет и выбор электрических сетей, коммутационных и защитных аппаратов, источников питания, преобразовательных установок и других электротехнических устройств. Проверка правильности выбора электрических сетей и электрических устройств по нагреву и потере напряжения, расчет показателей качества электроэнергии, показателей надежности систем электроснабжения проводятся также на основе расчета электрических нагрузок.

Электроснабжение ОС в основном осуществляется от трансформаторных подстанций (ТП). Поэтому важным является правильный выбор трансформаторов и оборудования ТП.

В системах электроснабжения и электропотребления ОС большое внимание уделяется компенсации реактивной мощности. Поэтому и в учебном пособии уделено особое внимание режимам реактивной мощности в электрических сетях.

Рассматриваются аварийные режимы в системах электроснабжения ОСП, защита сетей и электрооборудования в системах электроснабжения. Уделено внимание вопросам качества электроэнергии и надежности электроснабжения предприятий. Рассматриваются режимы электропотребления на предприятиях.

Авторы опирались на теоретический материал, изложенный в [1]...[7], и на собственный опыт.

• 1 •

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Потребители электрической энергии получают ее от источников электроснабжения по линиям электропередачи. **Потребителем** электроэнергии называется совокупность электроприемников, объединенных технологическим процессом, или расположенных на одной территории. Потребителями энергии является подъемный кран, станок, цех, строительное предприятие.

Электрическая энергия преобразуется в технологических установках в другие виды. Электротехническое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другие виды, называется **электроприемником** (приемником электрической энергии). Приемниками являются электродвигатель, лампа освещения, сварочный трансформатор и т. п.

Электрическая энергия, поступающая потребителю от источника, должна обладать соответствующим качеством. Основными показателями качества электроэнергии являются стабильность напряжения и частоты, синусоидальность напряжения и тока, симметрия напряжения и тока.

В производстве и передаче электроэнергии участвуют электроустановки различного назначения. **Электроустановкой** (ЭУ) называется совокупность машин, аппаратов, приборов, вспомогательного оборудования вместе со зданиями и сооружениями, предназначенных для производства, трансформации, передачи и распределения электрической энергии. К электроустановкам относятся электростанции,

трансформаторные подстанции, преобразовательные установки.

Источником питания (ИП) называется распределительное устройство генераторного напряжения на электростанции или распределительное устройство вторичного напряжения понижающей подстанции.

Электрической станцией называется электроустановка, предназначенная для производства электрической энергии.

Электроустановка для преобразования и распределения электроэнергии называется **подстанцией** (трансформаторной или преобразовательной).

Совокупность электроустановок и устройств для передачи и распределения электроэнергии, состоящая из подстанций, линий электропередачи и распределительных устройств, называется **электрической сетью**. В электрическую сеть входят воздушные и кабельные линии электропередачи, трансформаторные и преобразовательные подстанции (ПП), распределительные пункты (РП, ЦРП).

Распределительным устройством (РУ) называется электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, устройства защиты, автоматики и измерения. Если основное оборудование РУ размещено на открытом воздухе, то оно называется открытым (ОРУ), если размещено в здании — закрытым (ЗРУ). Распределительное устройство может состоять из комплектных блоков для наружной (КРУН) и внутренней (КРУ) установки.

Распределительным пунктом (РП) называется электроустановка, предназначенная для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без трансформации и преобразования. Обычно РП используются в сетях 6...10 кВ. В сетях до 1 кВ аналогичные устройства называют **пунктом распределительным (ПР)**.

Линией электропередачи называется устройство для передачи электроэнергии по проводам или кабелям.

Системой электроснабжения (СЭС) объекта называется совокупность электроустановок и устройств, предна-

значенных для производства, передачи и распределения электроэнергии, ее учета и контроля показателей качества. СЭС должна быть надежной, обеспечивать бесперебойное снабжение электроэнергией своих потребителей и электроприемников.

Системой электропотребления (СЭП) объекта называется совокупность технологических установок и устройств, имеющих в своем составе электроприемники и предназначенных для приема и распределения электроэнергии с целью ее преобразования в другие виды.

Станция управления — комплектное устройство, предназначенное для дистанционного управления электрооборудованием с автоматизированным выполнением функций управления, регулирования, защиты и сигнализации. Станция управления может быть выполнена в виде блока, панели, щита, шкафа управления.

Задачей электроснабжения ОС является непрерывное обеспечение электроэнергией электрических приемников, оптимизация параметров СЭС путем правильного выбора номинальных напряжений, условий присоединения к энергосистеме, электрооборудования на основе расчета электрических нагрузок, а также компенсация реактивных нагрузок, рациональное распределение электроэнергии, обеспечение защиты электроустановок.

Задачей электропотребления является организация безопасных и экономичных режимов работы при минимальных финансовых затратах и сокращение потерь электроэнергии.

1.2. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Источником электроснабжения ОС являются либо распределительное устройство генераторного напряжения на электростанции, либо распределительное устройство вторичного напряжения подстанции. В основном электроснабжение ОС осуществляется от трансформаторных подстанций, которые, в свою очередь, получают электроэнергию от электростанций энергосистемы.

На электростанциях электрическую энергию вырабатывают синхронные генераторы.

Электростанции для электроснабжения ОС, как и промышленных предприятий, делятся на тепловые и гидравлические. На тепловых электростанциях для привода генераторов в основном применяются двигатели внутреннего сгорания, работающие на жидком топливе (бензин, керосин, дизельное топливо). На гидравлических электростанциях привод генераторов осуществляется за счет энергии водных потоков рек или водопадов.

Энергия сжигаемого топлива в двигателях внутреннего сгорания преобразуется в механическую энергию на валу двигателя, с которым сочленяется вал генератора. На тепловых электростанциях применяются быстроходные генераторы (турбогенераторы) с неявнополюсным ротором.

На гидравлических электростанциях водные потоки попадают на гидротурбину, которая приводит во вращение синхронный гидрогенератор с явнополюсным ротором. Гидравлические электростанции строятся для электроснабжения нескольких населенных пунктов и других объектов различного назначения, расположенных в этих населенных пунктах.

Электроснабжение ОС, расположенных в населенном пункте или вблизи от него, может осуществляться как от тепловой, так и от гидравлической электростанции.

Возбуждение синхронных генераторов осуществляется от возбудителя (генератора постоянного тока), который устанавливается на одном валу с генератором [8] или от выпрямителя.

Напряжения электрических сетей и режимы нейтралей. Напряжение, при котором обеспечивается нормальная работа электроприемника, называется номинальным напряжением $U_{\text{ном}}$. В электрических сетях строительных площадок до 1 кВ применяется напряжение 380/220 В. Электроснабжение трехфазных электроприемников осуществляется на линейном напряжении 380 В, а однофазных электроприемников — на фазном напряжении 220 В. Напряжения источников приняты на 5% выше — 400/230 В.

Основным преимуществом напряжения 380/220 В является возможность совместного питания силовых и осветительных приемников, трехфазных и однофазных электроприемников.

В сетях выше 1 кВ для электроснабжения ОС, как и смежных с ними промышленных предприятий и жилых кварталов городов, приняты напряжения: (6), 10, 35 и 110 кВ. Напряжения генераторов на электростанциях — 6,3; 10,5; 21 кВ. Напряжения трансформаторов: первичные обмотки — 6,3; 10,5; 37; 115 кВ, вторичные обмотки — 6 и 10 кВ. Напряжение 6 кВ при проектировании новых сетей не рекомендуется. Это напряжение осталось в ЭС, перевод которых на напряжение 10 кВ оказался малоэффективным из-за замены трансформаторов. Напряжения 35 и 110 кВ целесообразно использовать, если вблизи имеются линии электропередачи на напряжение 35 или 110 кВ для электроснабжения промышленных предприятий.

При выборе напряжения можно воспользоваться следующими рекомендациями:

- если в системе внешнего электроснабжения есть возможность присоединения питающей линии к двум равноудаленным линиям электропередачи с разным номинальным напряжением, то следует выбрать более высокое номинальное напряжение;
- если в системе внешнего электроснабжения есть возможность присоединения питающей линии к двум линиям электропередачи с разным номинальным напряжением, находящимся на разном удалении от объекта электроснабжения, целесообразно выбрать номинальное напряжение линии электропередачи, находящейся на более близком расстоянии.

Соединение обмоток источников питания. Синхронные генераторы на электростанциях, трансформаторы на подстанциях имеют по три самостоятельных фазных обмотки. Фазные обмотки могут быть соединены между собой либо в звезду, либо в треугольник.

Общая точка обмоток, соединенных в звезду, называется нейтралью (нейтральной или нулевой точкой).

В зависимости от режима нейтрали электрические сети разделяют на три группы:

- сеть с незаземленной (изолированной от земли) нейтралью;
- сеть с резонансно-заземленной (компенсированной) нейтралью;
- сеть с глухозаземленной нейтралью.

При соединении нейтральной точки с землей обеспечивается рабочее заземление. Способ заземления нейтрали в сети определяется безопасностью обслуживания сети, надежностью электроснабжения электроприемников и экономичностью.

Соединение между собой двух или более точек разных фаз или одной любой фазы с землей, не предусмотренное нормальными условиями работы установки, называется *коротким замыканием*. При этом ток короткого замыкания резко возрастает.

Режимы нейтралей при напряжениях 6...110 кВ. *Нейтраль* — общая точка соединения трех обмоток генератора или трансформатора, называемая нейтральной или нулевой. В России и других странах, использующих одинаковые с ней номинальные напряжения, применяют электрические сети с изолированной или с заземленной нейтралью.

В сетях с напряжением 6...35 кВ в основном применяются *установки с изолированной нейтралью*. В этих установках нейтраль не связана с землей или ее эквивалентом. В линии используются три фазные провода. Замыкание одной из фаз на землю в сетях с изолированной нейтралью не является коротким замыканием. Ток замыкания на землю будет небольшим, так как отсутствует явно замкнутый контур для его прохождения. При замыкании фазы на землю в сети возникает не аварийный, а ненормальный режим, который не отключается релейной защитой, но подается сигнал о его возникновении. Если в одной из фаз трехфазной системы в сети с изолированной нейтралью произошло замыкание на землю, то ее напряжение по отношению к земле будет равно нулю, а напряжение других фаз по отношению к земле будет равно

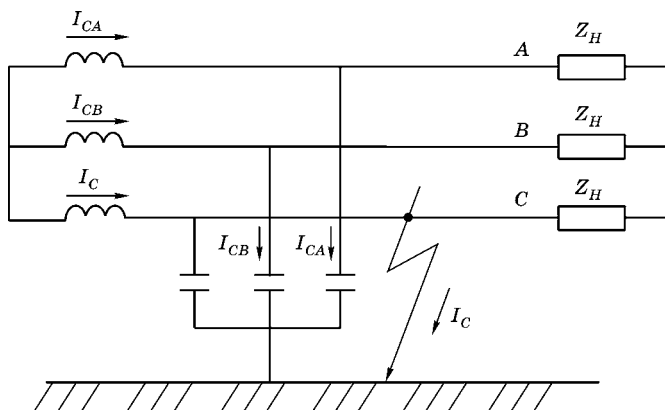


Рис. 1.1

Трехфазная схема сети с изолированной нейтралью
при замыкании фазы *C* на землю

линейному, т. е. увеличится в $\sqrt{3}$ раз. В этом случае изоляцию всех фаз требуется выполнять на линейное напряжение, что приводит к удорожанию электрических сетей. Ток замыкается через распределенные емкости вдоль линии, которые для упрощения анализа процесса условно можно заменить емкостями, сосредоточенными в середине линии.

Ток замыкания на землю носит емкостный характер и может быть определен по формулам:

- для воздушной линии:

$$I_{з.з} = Ul/350;$$

- для кабельной линии:

$$I_{з.з} = Ul/10,$$

где U — номинальное напряжение сети; l — суммарная длина электрически связанных линий.

На рисунке 1.1 приведена схема сети с изолированной нейтралью.

Ток замыкания на землю $I_{з.з}$ нормируется в зависимости от номинального напряжения линии. При напряжении 6 кВ $I_{з.з} = 30$ А, при 10 кВ — 20 А, при 20 кВ — 15 А, при 35 кВ — 10 А.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru