

## СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- АСДУ – автоматизированная система диспетчерского управления
- БПВ – блок «предохранитель – выключатель»
- БТМ – блок «трансформатор – магистраль»
- БЭП – бытовой электроприемник
- ДВС – двигатель внутреннего сгорания
- ДГУ – дизель-генераторная установка
- ДП – диспетчерский пункт
- ДЭС – дизельная электростанция
- ЕЭС – единая энергосистема
- ЗРУ – закрытое распределительное устройство
- ЗТП – закрытая трансформаторная подстанция
- ККУ – комплектная конденсаторная установка
- КРУ – комплектное распределительное устройство внутренней установки
- КРУН – комплектное распределительное устройство наружной установки
- КТП – комплектная трансформаторная подстанция
- МТП – мачтовая трансформаторная подстанция
- МЭС – мобильная электростанция
- ОРУ – открытое распределительное устройство
- ОСН – объект сельскохозяйственного назначения
- ПВ – продолжительность включения
- ПР – пункт распределительный низковольтный
- ПСН – предприятие сельскохозяйственного назначения
- ПЭС – предприятие электрических сетей
- РП – распределительный пункт высокого напряжения
- РТП – районная трансформаторная подстанция
- РУ – распределительное устройство
- РУНН – распределительное устройство низкого напряжения
- РЩ – распределительный щит
- РЭС – районная электрическая сеть
- СЭП – система электропотребления
- СЭС – система электроснабжения
- ТП – трансформаторная подстанция

ЦРП – центральный распределительный пункт  
ЦЭН – центр электрических нагрузок  
ШР – шинопровод распределительный  
ЭП – электроприемник  
ЭС – электрическая сеть

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Выпуск учебной литературы для подготовки специалистов с высшим и средним профессиональным образованием резко сократился. Такой участии не избежали и электротехнические специальности. В последнее время были изданы следующие книги: Кудрин Б. И. «Электроснабжение промышленных предприятий», Интермет Инжиниринг, 2005 (учебник для вузов); Конюхова Е. А. «Электроснабжение объектов», Мастерство, 2002 (учебник для образовательных учреждений СПО). В 2007 г. издательством «Форум», Москва, была выпущена в качестве учебного пособия книга авторов Е. Ф. Щербакова, Д. С. Александрова и А. Л. Дубова «Электроснабжение и электропотребление на предприятиях» с переизданием в 2010 году. Она предназначена для восполнения недостатка учебной литературы и ориентирована на подготовку специалистов по специальности «Электроснабжение (по отраслям)» для промышленных предприятий. В 2012 году издательством «Лань» выпущено учебное пособие «Электроснабжение и электропотребление в строительстве» тех же авторов. Издание настоящего учебного пособия расширяет границы его использования в различных отраслях экономики.

Издавались учебники и учебные пособия по электроприводу и электрооборудованию технологических процессов сельскохозяйственного производства: А. П. Коломиец и др. «Электропривод и электрооборудование», М.: Коллес, 2006; А. П. Епифанов и др. «Электропривод», СПб.: Лань, 2012.

На предприятиях сельскохозяйственного назначения за эксплуатацию энергетического и электротехнического оборудования отвечает один специалист либо по электроснабжению, либо по электроприводу. Поэтому в настоящем издании рассматриваются вопросы и электроснабжения и электропривода.

В настоящем учебном издании, написанном на базе «Электроснабжения и электропотребления на предприятиях», рассматриваются общие вопросы электроснабжения и электропотребления для объектов сельскохозяйственного назначения – сельских населенных пунктов, объектов животноводства, растениеводства, предприятий по переработке продукции сельского хозяйства.

Учебные дисциплины «Электроснабжение» и «Электропривод» изучаются после дисциплин «Теоретические основы электротехники», «Электрическая часть станций и подстанций» («Электрические

подстанции»), «Электрические материалы», «Электрические машины», «Электрические аппараты», «Электрические измерения», поэтому при изложении материала учитывалось, что студентам учебный материал названных дисциплин знаком.

При изучении учебного материала будущий специалист ориентируется на проектирование и эксплуатацию систем электроснабжения и электротехнических устройств, преобразующих электроэнергию в другие ее виды. Поэтому книга будет полезной и для специалистов, работающих в области проектирования и эксплуатации систем электроснабжения и электропотребления.

При изложении учебного материала учитывалось, что в настоящее время электрооборудование животноводческих ферм, теплиц разнообразно по мощности, производительности и предприятиям-изготовителям (используется оборудование зарубежных и отечественных производителей, в том числе выпуска ещё советских лет). Поэтому описание работы оборудования приводится для примера.

В основу учебника положен опыт научно-исследовательской и педагогической деятельности авторов и других специалистов.

При написании рукописи материал был распределен следующим образом: Е. Ф. Щербаков – гл. 1, 2, 6, 9, 10; Е. Ф. Щербаков, А. Л. Дубов – гл. 3–5, 7–10, 12; Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров – гл. 8, 11–16.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам рукописи доктору техн. наук, проф. А. В. Кузнецовой, канд. техн. наук, доц. Ю. П. Свиридову за ценные замечания, учтенные при доработке рукописи.

## ВВЕДЕНИЕ

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

Потребителями электрической энергии в сельской местности являются осветительные и бытовые установки, технологические установки в растениеводстве и животноводстве, предприятия агропромышленного комплекса (переработка продукции растениеводства и животноводства), ремонтные цеха и объединения по ремонту техники. Этих потребителей будем называть объектами сельскохозяйственного назначения (ОСН), предприятиями сельскохозяйственного назначения (ПСН).

Сельские населенные пункты могут представлять собой небольшие деревни и крупные рабочие поселки с сельской застройкой, к которым вполне могут предъявляться требования, аналогичные городским поселениям. Объединения по ремонту техники, предприятия по переработке продукции растениеводства и животноводства (элеваторы, мясокомбинаты, молоко- и маслозаводы), располагаемые в сельской местности, могут быть отнесены к промышленным предприятиям.

Потребители электрической энергии получают ее от энергетических систем и собственных электростанций по распределительным сетям. Приемниками электрической энергии являются электродвигатели, нагреватели, сварочные агрегаты, выпрямительные устройства, радиоэлектронная аппаратура, высокочастотные установки, осветительные установки.

Электроснабжение ОСН служит для обеспечения электроэнергией всех электроприемников. В систему электроснабжения входят источники питания, повышающие и понижающие электрические подстанции, питающие распределительные электрические сети, различные вспомогательные устройства и сооружения.

Потребление электрической энергии характеризуется режимами работы электроприемников. Режимы электроснабжения и электропотребления неразрывно связаны между собой.

Распределение электроэнергии к приемникам осуществляется по электрическим сетям. Все приемники могут быть включены в распределительную сеть одного напряжения или в электрические сети разных напряжений.

Электрические сети делят:

– По роду тока. Сети выполняются переменного и постоянного тока. В сельскохозяйственном производстве сети в основном 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. Применяются сети 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, электропривод подъемно-транспортных механизмов, станков) необходим постоянный ток. Для преобразования служат двигатель-генераторы, выпрямители.

– По напряжению. На предприятиях применяются сети на напряжение до 1000 В (низкого напряжения, низковольтные) и выше 1000 В (высокого напряжения, высоковольтные).

– По конструктивным признакам. Линии электропередач в электрических сетях могут выполняться воздушными и кабельными.

– По режиму нейтрали. Электроустановки и электрические сети в системах электроснабжения объектов сельскохозяйственного назначения могут быть с заземленной или изолированной нейтралью.

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

При проектировании и реконструкции систем электроснабжения предприятий необходимо знать электрические нагрузки в электрических сетях. На основании расчета электрических нагрузок выполняется расчет и выбор электрических сетей, коммутационных и защитных аппаратов, источников питания 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.

Грамотно выполненный расчет помогает определить оптимальные расчетные величины электрических сетей, позволяющие осуществлять их перспективное развитие и в то же время не допускать перерасхода проводникового материала, выбора трансформаторов, работающих с большой недогрузкой.

Электроснабжение объектов в основном осуществляется от трансформаторных подстанций. Поэтому важным является правильный выбор трансформаторов и оборудования трансформаторных подстанций.

В системах электроснабжения большое внимание уделяется компенсации реактивной мощности. Поэтому и в учебном пособииделено внимание режимам реактивной мощности в ЭС.

Рассматриваются аварийные режимы в системах электроснабжения объектов сельскохозяйственного назначения, защита сетей и электрооборудования в системах электроснабжения. Уделено внимание вопросам качества электроэнергии и надежности электроснабжения. Рассматриваются режимы электропотребления на объектах сельскохозяйственного назначения.

Обычно задачи электроснабжения решаются от электроприемника или их групп к источникам питания. Учитывая, что электроприемники сельских ЭС в основном подключаются к существующим системам энергосистемы, в учебном пособии распределение электрической энергии при напряжении выше 1 кВ рассматривается раньше, чем распределение электроэнергии при напряжении до 1 кВ.

Авторы опирались на теоретический материал, изложенный в [1–9].

# ГЛАВА 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* электротехнической энергии называется совокупность электроприемников, объединенных технологическим процессом или расположенных на одной территории. Потребителями энергии являются станок, цех, предприятие, квартира, населенный пункт.

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 электротехнической энергии являются стабильность напряжения и частоты, синусоидальность напряжения и тока, симметрия напряжения и тока.

В производстве и передаче электротехнической энергии участвуют электроустановки различного назначения. *Электроустановкой* называется совокупность машин, аппаратов, приборов, вспомогательного оборудования вместе со зданиями и сооружениями, предназначенными для производства, трансформации, передачи и распределения электрической энергии. К электроустановкам относятся электростанции, трансформаторные подстанции, преобразовательные установки.

*Источником питания* 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 электротехнической энергии называется *подстанцией* (трансформаторной или преобразовательной).

Совокупность электроустановок и устройств для передачи и распределения электротехнической энергии, состоящая из подстанций, линий

электропередачи и распределительных устройств, называется *электрической сетью*. В электрическую сеть входят воздушные и кабельные линии электропередачи, трансформаторные и преобразовательные подстанции, 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), а если 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, предназначенных для производства, передачи и распределения электроэнергии, ее учета и контроля показателей качества. СЭС должна быть надежной, обеспечивать бесперебойное снабжение электроэнергией своих потребителей и электроприемники.

*Системой электропотребления* (СЭП) объекта называется совокупность технологических установок и устройств, имеющих в своем составе электроприемники, предназначенные для преобразования электроэнергии в другие виды с целью ее производственного потребления. В систему электропотребления включается *система контроля и учёта* потребления электроэнергии.

*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 объектов сельскохозяйственного назначения является беспрерывное обеспечение электроэнергией электрических приемников, оптимизации параметров СЭС путем пра-

вильного выбора номинальных напряжений, условий присоединения к энергосистеме, выбора электрооборудования на основе расчета электрических нагрузок, 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 объекта являются либо распределительное устройство генераторного напряжения на электростанции, либо распределительное устройство вторичного напряжения подстанции. В основном электроснабжение объектов сельскохозяйственного назначения осуществляется от трансформаторных подстанций, которые, в свою очередь, получают электроэнергию от электростанций энергосистемы.

На электростанциях электрическую энергию вырабатывают синхронные генераторы.

Для электроснабжения объектов сельскохозяйственного назначения в основном применяются тепловые и гидравлические электростанции. На тепловых электростанциях для привода генераторов в основном применяются двигатели внутреннего сгорания, работающие на жидким 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 неявно полюсным ротором. Тепловые электростанции используются для электроснабжения сельских населенных пунктов, объектов сельскохозяйственного назначения, расположенных в населенном пункте или вблизи него.

На гидравлических электростанциях водные потоки попадают на гидротурбину, которая приводит во вращение синхронный гидрогенератор с явно полюсным ротором. Гидравлические электростанции строятся для электроснабжения нескольких населенных пунктов

и объектов сельскохозяйственного назначения, расположенных в этих населенных пунктах.

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

**Напряжения электрических сетей и режимы нейтралей.** Напряжение, при котором обеспечивается нормальная работа электроприемника, называется номинальным напряжением  $U_{\text{ном}}$ . В сельских электрических сетях 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 объектов сельскохозяйственного назначения 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 самостоятельные фазные обмотки. Фазные обмотки могут быть соединены между собой либо в звезду, либо в треугольник. 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.

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.

Способ заземления нейтрали в сети определяется безопасностью обслуживания сети, надежностью электроснабжения электроприемников и экономичностью.

**Режимы нейтралей при напряжениях 6–110 кВ.** *Нейтраль – общая точка соединения трех фазных 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 заzemленной 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 фазных 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 режим, а ненормальный режим, который не отключается релейной защитой, а 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 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, со средоточенными в середине линии. Ток замыкания на землю носит емкостной характер и может быть определен по формулам:

– для воздушной линии

$$I_{33} = U/l/350; \quad (1.1)$$

– для кабельной линии

$$I_{33} = U/l/10, \quad (1.2)$$

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

На рис. 1.1 приведена схема сети с изолированной нейтралью.

Ток замыкания на землю  $I_{33}$  нормируется в зависимости от номинального напряжения линии. При напряжении 6 кВ  $I_{33} = 30$  А, при 10 кВ – 20 А, при 20 кВ – 15 А, при 35 кВ – 10 А.

Если в сетях 6–35 кВ токи замыкания на землю превышают допустимые значения, то компенсация емкостных токов на землю осуществляется с помощью заземляющего реактора, включаемого между нейтральной точкой и землей (рис. 1.2).

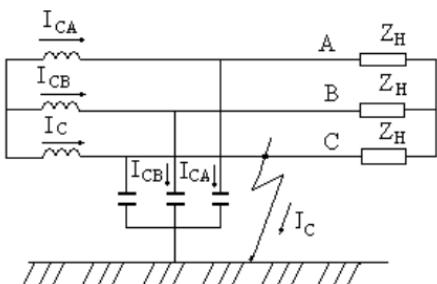


Рис. 1.1. Трехфазная схема сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы С на землю

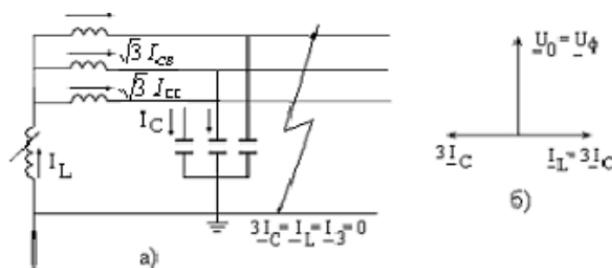


Рис. 1.2. Трехфазная сеть с компенсированной нейтралью:  
а – схема протекания емкостных токов при однофазном замыкании на землю; б – векторная диаграмма токов и напряжений

При наличии заземляющего реактора, кроме емкостных токов  $I_C$ , в месте замыкания фазы на землю проходят и индуктивные токи  $I_L$ , замыкающиеся через реактор. Такие сети называются *сетями с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтралями*.

Так как индуктивный и емкостный токи отличаются друг от друга по фазе на  $180^\circ$ , то в месте замыкания на землю они компенсируют друг друга.

В электрических сетях с напряжением 110 кВ токи замыкания на землю повышаются, поэтому применяются *эффективно заземленные нейтрали*, т. е. нейтрали, заземленные через токоограничивающее сопротивление (рис. 1.3). При однофазном замыкании на землю напряжение на неповрежденных фазах относительно земли составляет  $0,8U_L$  в нормальном режиме.

При замыкании одной фазы на землю образуется короткозамкнутый контур через землю и нейтраль источника. Токоограничивающее сопротивление снижает ток замыкания на землю. Поврежденный участок отключается устройствами релейной защиты. Часто короткие замыкания на землю бывают самоустраниющимися, поэтому в сетях применяется автоматическое повторное включение.

В сетях с напряжением 110 кВ и выше применяется и глухое заземление нейтрали (без токоограничивающих устройств между нейтральной точкой источника и землей). Это снижает вероятность возникновения в сетях дуговых перенапряжений и дает возможность снижения уровня изоляции.

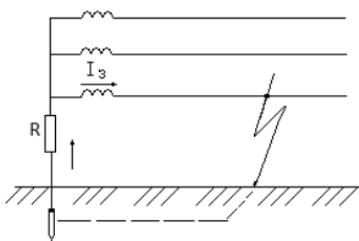


Рис. 1.3. Трехфазная сеть с эффективно заземленной нейтралью

**Режимы нейтралей при напряжениях до 1 кВ.** В сельских сетях с напряжением до 1 кВ применяются установки переменного тока с глухозаземленной нейтралью. *Глухозаземленной нейтралью* называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Электрические сети в ос-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)