

14. Общие вопросы электроснабжения и электробезопасности

подавляющее большинство электрической энергии, используемой на производстве и в быту, производится промышленным способом, а затем распределяется по потребителям. При этом часто вопросы экономики вступают в противоречие с вопросами безопасности эксплуатации электроустановок и требуют от потребителя знания принципов и основных норм использования электроэнергии.

14.1. Общие вопросы электроснабжения

14.1.1. Электрические сети

Системой электроснабжения называется совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией. Она включает в себя электрические станции, трансформаторы, воздушные и кабельные линии электропередачи и низковольтные электрические сети.

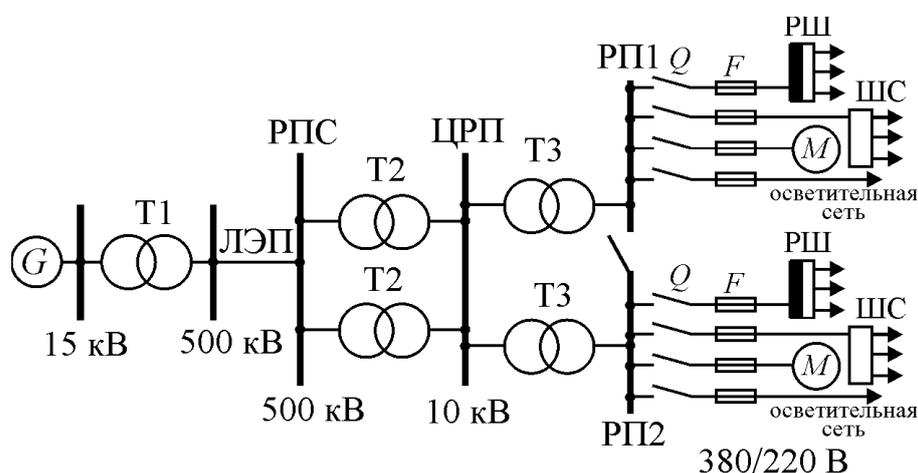


Рис. 14.1

Одна из типовых схем электроснабжения показана на рис. 14.1. Генератор электростанции G , приводимый в движение водой, паром или газовой турбиной, вырабатывает электроэнергию при напряжении

6...35 кВ. Трансформатор $T1$ повышает напряжение до уровня 35...1150 кВ, при котором передача энергии по воздушной или кабельной линии (ЛЭП) экономически наиболее выгодна. Далее электроэнергия поступает на районные распределительные подстанции (РПС), которые с помощью специальных ЛЭП (на схеме не показаны) объединяются в единую энергосистему, управляемую из одного центрального пункта. От районной РПС энергия поступает на центральную распределительный пункт (ЦРП) крупного предприятия или группы мелких предприятий, где трансформаторами $T2$ напряжение понижается до 6...10 кВ, а затем распределяется по цеховым распределительным пунктам (РП1, РП2, ...) и снова понижается ($T3$) до стандартного значения 380/220 В. На распределительных пунктах помимо трансформаторов устанавливаются разъединители Q и предохранители F . К шинам РП подключаются мощные потребители, например, двигатели M , а также шинные сборки ШС и распределительные шкафы РШ, питающие более мелких потребителей

и реализующие схемы резервного электроснабжения. Отдельные линии выделяются для питания осветительной сети.

Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) предусмотрено питание потребителей от сетей с глухозаземлённой и с изолированной нейтралью. *Глухозаземлённой нейтралью* называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединённая непосредственно к заземляющему устройству, а *изолированной нейтралью* – нейтраль не присоединённая к заземляющему устройству.

Для основной массы потребителей используются четырёхпроводные сети с глухозаземлённой нейтралью. Это позволяет потребителям использовать линейное и фазное напряжения, а также организовать эффективную защиту сети от перегрузок. Трёхпроводные сети с изолированной нейтралью применяются для питания установок с повышенной опасностью поражения людей электрическим током (шахты, судовые электрические сети, помещения с повышенной влажностью и т.п.).

14.1.2. Защита электрических сетей

Защита электрических сетей от аварийных режимов является одной из главных задач проектирования и эксплуатации, т.к. выход из строя электрооборудования может привести к тяжёлым последствиям для людей и к значительным материальным потерям.

К аварийным режимам в первую очередь относятся короткие замыкания. При замыкании ток в цепи ограничивается только малыми сопротивлениями проводов и может достигать значений, в десятки раз превосходящих нормальный ток нагрузки, а также допустимый ток проводников. В соответствии с ПУЭ электрические сети должны защищаться от одно-, двух- и трёхфазных коротких замыканий и перегрузок. Динамические и термические нагрузки на проводники, возникающие при коротких замыканиях, могут вызывать их разрушение и вторичные эффекты в виде пожаров, взрывов и т.п. с ещё более тяжёлыми последствиями.

Другим видом аварии, требующим контроля и защиты, является перегрузка сетей, т.е. работа при токах, превышающих расчётные значения. Это вызывает повышенное нагревание проводников, приводящее к ускоренному старению и/или разрушению изоляции, что, в свою очередь, может вызвать короткое замыкание. От перегрузки должны быть защищены все сети внутренних помещений, выполненные открыто проложенными изолированными проводами с горючей оболочкой, а также сети, к которым подключены осветительные и бытовые приборы. От перегрузки должны быть защищены также сети, относящиеся к первой категории электроснабжения, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой тяжёлые последствия. В отличие от короткого замыкания, перегрузки не приводят к быстрому выходу из строя оборудования и при квалифицированном обслуживающем персонале могут быть своевременно устранены без тяжёлых последствий.

Защита от коротких замыканий в электрических сетях должна обладать минимальным временем срабатывания и по возможности обеспечивать селективность отключения. Под *селективностью* понимают способность отключения аварийного участка в конце защищаемой линии. Это необходимо для сохранения энергоснабжения оборудования, подключённого к исправным шинам ближе к источнику питания.

Согласно ПУЭ в сетях с глухозаземлённой нейтралью должна быть обеспечена защита от однофазных и многофазных замыканий, а в сетях с изолированной нейтралью – от двух- и трёхфазных замыканий.

Для защиты от коротких замыканий применяются предохранители с плавкими вставками и автоматические выключатели. Оба вида устройств характеризуются временем срабатывания, номинальным током, который они выдерживают неограниченное время без отключения, а также *временоковой или защитной характеристикой*.

Автоматические выключатели являются более совершенными устройствами, чем предохранители. Они могут отключать сразу три фазы защищаемого участка, имеют более точные защитные характеристики и исключают возможность применения некалиброванных элементов. Кроме того, сразу после срабатывания автоматические выключатели готовы к повторному подключению сети.

Обычно автоматические выключатели имеют комбинированные расцепители, размыкающие защищаемую цепь при различном характере перегрузки.

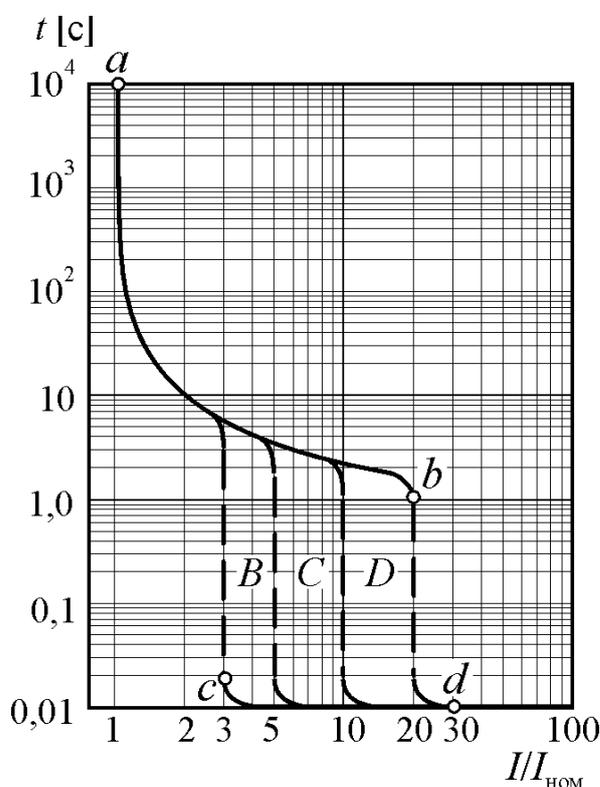


Рис. 14.2

На рис. 14.2 показаны защитные характеристики автоматических выключателей различных типов с комбинированным тепловым и электромагнитным расцепителем.

Участок *ab* защитной характеристики соответствует работе теплового расцепителя, т.е. механизма размыкающего контакты выключателя за счёт нагревания металлической пластины протекающим электрическим током. Он срабатывает при длительном протекании тока небольшой кратности по отношению к номинальному и защищает электрическую цепь от перегрузки. Например, на рис. 14.2 показана защитная характеристика выключателя, в котором двукратный ток вызовет отключение цепи, если он будет протекать в течение 10 с.

Трёх- и более кратные токи, обычно возникающие при коротких замыканиях, вызывают срабатывание электромагнитного расцепителя, отключающего цепь почти мгновенно (участок cd характеристики). Действие электромагнитного расцепителя основано на втягивании ферромагнитного сердечника в магнитное поле катушки, в обмотке которой протекает ток защищаемой цепи.

По настройке электромагнитного расцепителя автоматические выключатели делятся на три типа – B , C и D . Они срабатывают при различных кратностях тока, что позволяет исключить ложные срабатывания защиты при кратковременных перегрузках сети, связанных с переходными режимами различных установок. Тип B с нормальной защитной характеристикой, допускающей 3...5-кратную перегрузку, используется в осветительных и бытовых сетях, в которых практически отсутствуют пусковые режимы оборудования. Выключатели типа C с более медленной характеристикой, соответствующей 5...10-кратному току, используют в сетях, питающих, например, электроприводы с нормальными условиями пуска прямым включением в сеть. Защиту сетей, питающих установки с тяжёлыми условиями переходных режимов, например, сварочное оборудование или мощный электропривод, осуществляют выключателями со сверхмедленной характеристикой типа D , допускающей 10...20-кратную перегрузку в течение приблизительно одной секунды.

Ток срабатывания автоматического выключателя или плавкой вставки выбирают таким образом, чтобы он был возможно ближе к расчётному или номинальному току защищаемого участка сети, но при этом не происходило отключение при кратковременных перегрузках.

14.1.3. Потери энергии в электрических сетях и способы повышения экономических показателей

Передача электрической энергии от источника к потребителям сопровождается потерями в электросетях, составляющими в среднем 5...7%. Величина потерь зависит от нагрузки, состояния и протяжённости сетей, режимов работы электрооборудования и проявляется в виде уменьшения напряжения питания у потребителей.

Потери напряжения происходят в трансформаторе, питающем нагрузку, и в линии электропередачи. Потери в трансформаторе в процентах от номинального значения можно оценить как

$$\Delta u_{\text{т}} \% = \beta(u_{\text{а}} \% \cos \varphi + u_{\text{р}} \% \sin \varphi), \quad (14.1)$$

где $\beta = I / I_{\text{ном}}$ – коэффициент нагрузки трансформатора; $u_{\text{а}} \%$, $u_{\text{р}} \%$ – относительные значения активного и реактивного напряжения короткого замыкания в процентах; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Аналогично оценивается потери напряжения в линии

$$\Delta u_{\text{л}} \% = 100IL(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) / U_{\text{ном}}, \quad (14.2)$$

где I – действующее значение тока; $U_{\text{ном}}$ – номинальное значение напряжения; r_0, x_0 – удельные значения активного и реактивного сопротивления линии длиной L .

Общие потери равны сумме потерь в трансформаторе и в линии

$$\Delta u\% = \Delta u_{\text{т}}\% + \Delta u_{\text{л}}\% \quad (14.3)$$

Из выражений (14.1)-(14.3) следует, что уменьшить потери электроэнергии в данной сети можно увеличением КПД нагрузки, т.к. при этом уменьшается активная составляющая потребляемого ею тока, а также увеличением коэффициента мощности нагрузки, т.е. уменьшением реактивной составляющей потребляемого тока.

Основными потребителя электроэнергии в промышленности являются асинхронные двигатели, обладающие хорошими энергетическими показателями при нагрузке близкой к номинальной. Однако при снижении нагрузки КПД и коэффициент мощности двигателя резко уменьшаются, что вызывает увеличение потерь в трансформаторе и линии передачи энергии. Поэтому необходимо обеспечить правильный выбор мощности двигателей и в случае работы привода с нагрузкой двигателя менее 70% номинальной мощности целесообразно произвести его замену.

Наихудшими энергетическими показателями обладают асинхронные двигатели в режиме холостого хода. Поэтому в оборудовании, где двигатель по условиям технологического процесса длительное время работает вхолостую целесообразно отключать его от сети.

По этой же причине при проектировании технологических процессов следует создавать непрерывные циклы, обеспечивающие постоянную полную загрузку оборудования.

Эффективным средством повышения КПД технологического оборудования является также переход к регулируемым электроприводам вместо нерегулируемых. В этом случае, например, в приводах насосных агрегатов расход электроэнергии снижается примерно на 30%.

Если выбором двигателей и приводов, а также организацией технологического процесса не удаётся поднять коэффициент мощности до требуемого уровня, то для компенсации потребляемой реактивной мощности устанавливают конденсаторные батареи или синхронные компенсаторы.

Потери энергии в сетях являются серьёзной экономической проблемой, поэтому для крупных потребителей нормируется средневзвешенный коэффициент мощности оборудования, рассчитываемый по показаниям счётчиков активной W_a и реактивной W_p энергий

$$\text{tg}\varphi_c = W_p / W_a,$$

откуда

$$\cos\varphi_c = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2\varphi_c}}.$$

При работе потребителя с коэффициентом мощности, превышающим нормированное значение, производится скидка с тарифа оплаты электроэнергии, а за понижение $\cos\varphi_c$ тариф повышают или применяют штрафные санкции. Таким образом, экономическими методами потребителей вынуждают к применению мер по повышению качественных показателей расходуемой электроэнергии.

Вопросы для самопроверки

1. Что включает в себя система электроснабжения?
2. Для чего повышают выходное напряжение генератора?
3. Сколько ступеней используют при понижении напряжения?
4. Что такое сеть с глухозаземлённой (изолированной) нейтралью?
5. Где и почему используют сети с глухозаземлённой и с изолированной нейтралью?
6. Какие виды защиты используют в электрических сетях?
7. Какие требования предъявляются к устройствам защиты?
8. Какие средства используют для защиты сетей от коротких замыканий?
9. Что такое времятоковая характеристика?
10. От чего защищает цепь комбинированный автоматический выключатель?
11. Чем отличаются друг от друга автоматические выключатели типов *B*, *C* и *D*?
12. Как выбирают ток срабатывания средств защиты?
13. В каких элементах электрической сети возникают потери энергии?
14. Чем определяется величина потерь энергии в электрических сетях?
15. Какой энергетический показатель нормируется для крупных потребителей энергии и почему?
16. Перечислите меры, применяемые для повышения качества потребляемой электроэнергии.

14.2. Основы электробезопасности

14.2.1. Условия поражения электрическим током

Электрический ток является источником повышенной опасности для человека, что вызывает необходимость строго соблюдения правил эксплуатации электроустановок и соответствующей подготовки обслуживающего персонала.

Поражение электрическим током возможно при прикосновении к токоведущим частям электроустановок или к металлическим частям оборудования, оказавшимся под напряжением вследствие нарушения изоляции. Возможно также поражение током в результате приближения человека к установкам с неисправной защитой и замкнутыми на землю токоведущими частями.

Тело человека обладает определённым электрическим сопротивлением, изменяющимся в широких пределах (от 500 до 100000 Ом) и зависящим от многих причин: состояния здоровья, состояния и влажности кожного покрова, условий окружающей среды и т.п. В расчётах по технике безопасности сопротивление тела принимается равным 1000 Ом.

Электрический ток вызывает ожоги, механические повреждения тканей, поражение нервной системы. Действие тока ощущается, начиная с 0,5...1,5 мА. При токе 10...15 мА человек не может самостоятельно разорвать цепь поражающего его тока, возникает т.н. «приковывание». Ток 50...60 мА поражает органы дыхания и сердечную мышцу. Считается, что ток в 100 мА представляет смертельную опасность.

Степень воздействия на человека зависит также от характера тока. До напряжения в 300 В более опасен переменный ток. В диапазоне напряжений от 300 до 600 В постоянный и переменный ток представляют одинаковую опасность, а выше 600 В более опасным является постоянный ток.

По степени опасности поражения током ПУЭ разделяют помещения, в которых находится электрооборудование, на три категории. К первой относятся помещения без повышенной опасности – сухие помещения с непроводящими полами, без металлоконструкций, токопроводящей пыли и влажности. К двум другим категориям относятся помещения с повышенной опасностью и особо опасные. Это влажные помещения с повышенной температурой, с токопроводящими полами, где существует возможность одновременного прикосновения к электрооборудованию и металлоконструкциям.

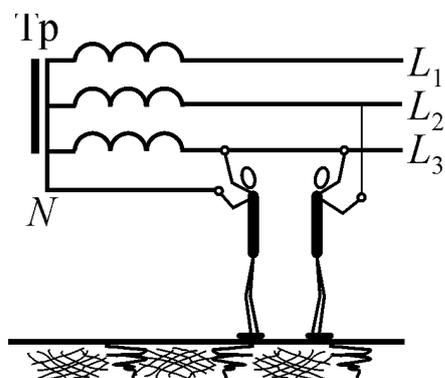


Рис. 14.3

Тяжесть поражения электрическим током определяется также контуром, по которому он замыкается в теле человека. Наибольшую опасность представляет прикосновение к токоведущим частям двумя руками, когда ток замыкается через органы грудной клетки (рис. 14.3). В сети с напряжениями 380/220 В при прикосновении к фазному и нулевому проводу ток может достигать значения $I = U_{\phi} / R \approx 220$ мА, а при прикосновении к линейным проводам – $I = U_{л} / R \approx 380$ мА, где: U_{ϕ} , $U_{л}$ – фазное

и линейное напряжение, а $R \approx 1000$ Ом – сопротивление тела. Что, безусловно, смертельно опасно для человека.

Прикосновение к незаземлённому линейному проводу одной рукой или какой-либо частью тела также опасно, т.к. при этом тело человека и сопротивления изоляции проводов по отношению к земле $R_{из}$ образуют несимметричную нагрузку с нейтральной точкой n (рис. 14.4). При этом к человеку прикладывается напряжение $\underline{U} = \underline{U}_3 - \underline{U}_{nN}$. В сети с глухозаземлённой нейтралью (рис. 14.4, а) $\underline{U}_{nN} = 0$ и напряжение, при-

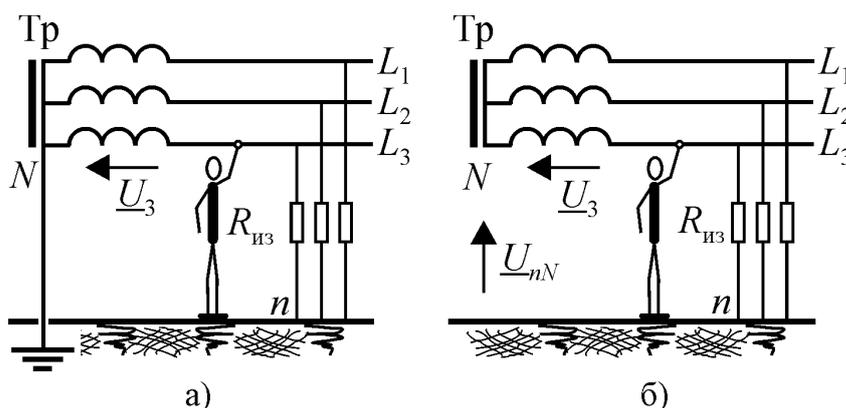


Рис. 14.4

нейтралью (рис. 14.4, а) $\underline{U}_{nN} = 0$ и напряжение, приложенное к человеку, оказывается равным фазному. В случае изолированной нейтрали (рис. 14.4, б) к человеку прикладывается разность фазного напряжения и напряжения между нейтральными точками,

значение которой стремится к нулю при $R_{из} \rightarrow \infty$, т.к. $\underline{U}_{nN} \xrightarrow{R_{из} \rightarrow \infty} \underline{U}_3$. Поэтому сети с изолированной нейтралью более безопасны и применяются там, где велика вероятность поражения электрическим током.

В случае пробоя изоляции и замыкании провода на землю в сети с глухозаземлённой нейтралью возникает короткое замыкание (рис. 14.5, а). После чего срабатывает защита и опасная ситуация ликвидируется. В сети с изолированной нейтралью короткого замыкания не возникает и аварийная ситуация может существовать длительно (рис. 14.5, б).

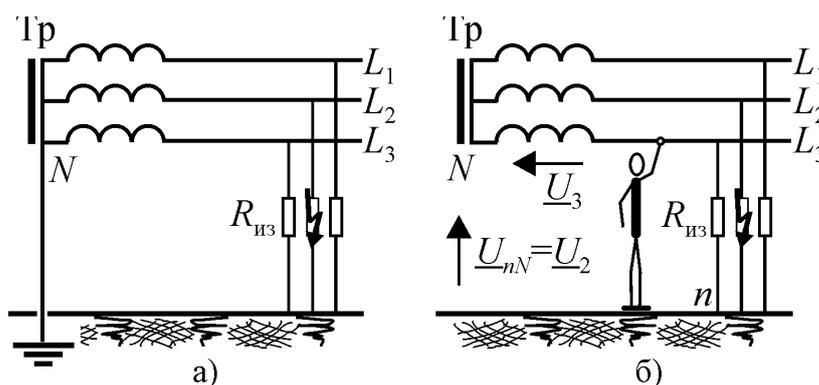


Рис. 14.5

При этом напряжения на двух других проводах относительно земли становятся равными линейному напряжению ($\underline{U}_{nN} = \underline{U}_2 \Rightarrow \underline{U} = \underline{U}_3 - \underline{U}_2 = \underline{U}_{23}$), т.е. увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз, что существенно увеличивает опасность поражения электрическим током в случае прикосновения.

Кроме прикосновения к токоведущим проводам сети опасность для здоровья и жизни человека возникает при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением в результате пробоя изоляции, а также в случае приближения к ним (рис. 14.6). В соответствии с ПУЭ металлические корпуса электроустановок должны быть заземлены, т.е. электрически соединены землёй, и в случае пробоя изоляции по земле от точки заземления растекается ток замыкания на землю I_3 . Он создаёт на поверхности земли распределённую разность потенциалов $U(l)$, называемую напряжением на заземляющем устройстве, где l – расстояние от точки заземления. В

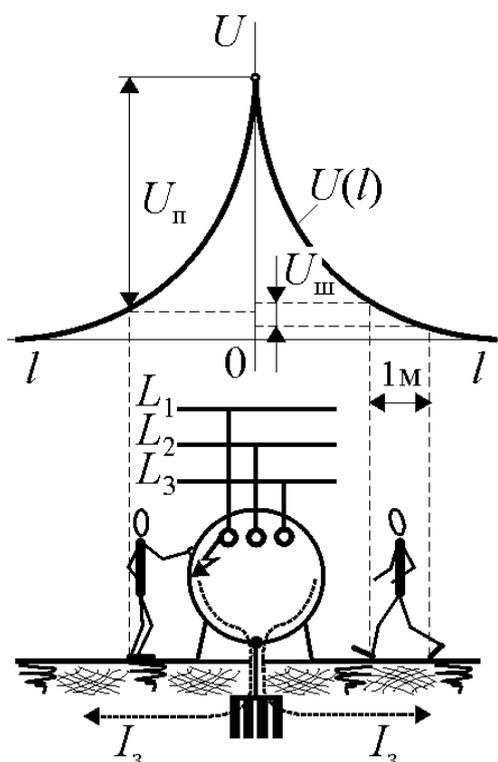


Рис. 14.6

результате находящийся в этом поле человек подвергается действию напряжения равного разности потенциалов между точками его касания земли. Различают два воздействующих на человека значения напряжения: *напряжение прикосновения* U_{II} и *напряжение шага* U_{III} (рис. 14.6). Первое является разностью потенциалов между двумя точками цепи тока замыкания на землю при одновременном прикосновении к ним человека, а второе – разностью потенциалов при одновременном касании этих точек ногами человека. Нормативной шириной шага при этом считают один метр.

14.2.2. Защита от поражения электрическим током

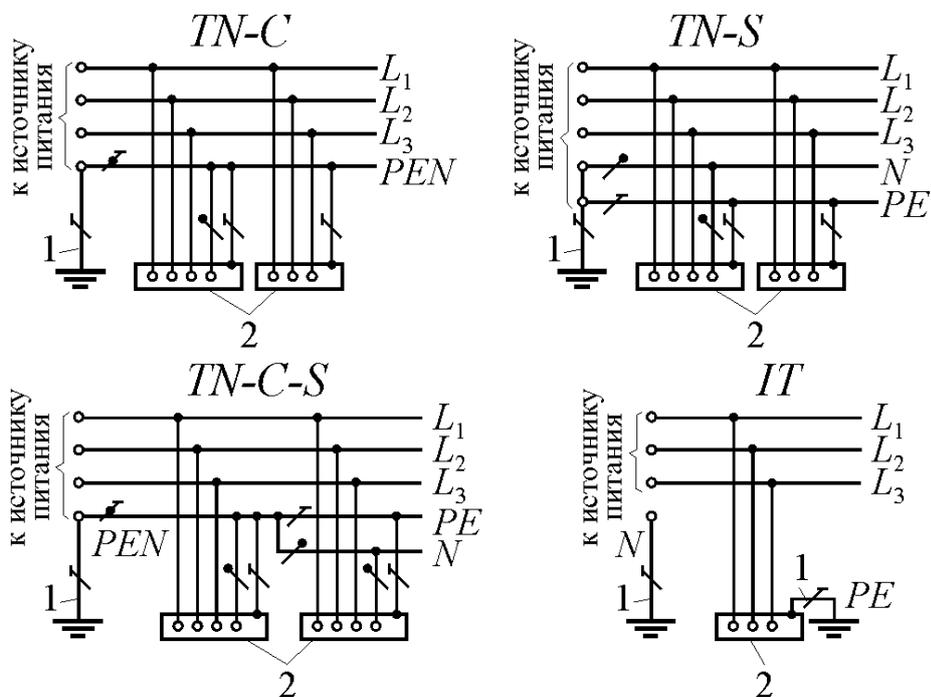
Для защиты людей от поражения электрическим током ПУЭ требуют применения, по крайней мере, одной из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение, разделение электрических цепей, понижение напряжения и применение двойной изоляции.

Заземление и зануление являются главными средствами защиты от поражения. Под *заземлением* понимают преднамеренное электрическое соединение открытых токопроводящих частей электроустановок, не находящихся под напряжением, с *заземляющими устройствами*. В качестве заземляющих устройств используют естественные и искусственные металлические конструкции, находящиеся в земле и имеющие с ней электрический контакт, по возможности, большей площади. В качестве естественных заземляющих устройств используют проложенные в земле водопроводные трубы, трубы скважин, металлические и железобетонные конструкции зданий, находящиеся в контакте с землёй, свинцовые оболочки кабелей, рельсовые пути неэлектрифицированных железных дорог и т.п. Искусственные заземлители представляют собой стальные сварные конструкции с большой площадью поверхности, закопанные в плотный грунт.

Занулением называется преднамеренное соединение открытых токопроводящих частей электроустановок, не находящихся под напряжением, с глухозаземлённой нейтралью генератора или трансформатора.

Заземлению и/или занулению подлежат все доступные прикосновению металлические корпуса и конструкции электрооборудования, которые при нарушении целостности изоляции могут оказаться под напряжением.

Электрические сети переменного тока согласно ПУЭ выполняются либо с глухозаземлённой нейтралью, либо с изолированной нейтралью (рис. 14.7). Системы питания с глухозаземлённой нейтралью обозначают буквами *TN*, а с изолированной нейтралью буквами *IT*. В зависимости от режима использования нулевого (нейтрального) провода реализация системы *TN* возможна в трёх вариантах: с нулевым (нейтральным) проводом, используемым на всём



- 1 – заземлитель;
 2 – открытые проводящие части электроустановки;
- — нулевой рабочий проводник (*N*);
 — — нулевой защитный проводник (*PE*);
 — — совмещённый нулевой рабочий и защитный проводник (*PEN*)

Рис. 14.7

протяжении как рабочий и как защитный проводник (*PEN*) – система *TN-C*; с отдельными рабочим (*N*) и защитным (*PE*) проводниками на всём протяжении – система *TN-S*; с совмещённым нулевым проводником (*PEN*) на начальном участке сети и последующим разделением его на рабочий и защитный проводники. – система *TN-C-S*. Под рабочим нулевым проводом понимают проводник, используемый для питания приёмников и соединённый с глухозаземлённой нейтралью, а под защитным – проводник, соединяющий с нейтралью зануляемые части электроустановок.

В системах *TN* основным средством защиты является зануление. Использование заземления в таких сетях допускается только в сочетании с занулением. Это связано с тем, что при отсутствии зануления в случае пробоя изоляции корпус электроустановки окажется под напряжением, примерно равным половине фазного напряжения. При этом защита от короткого замыкания может не сработать, если её уставка больше тока короткого замыкания

на землю $I_3 = U_\phi / (R_N + R_e)$, где R_N, R_e – сопротивления заземляющих устройств трансформатора и заземлённой электроустановки. При нормативном значении сопротивлений $R_N = R_e = 4$ Ом и фазном напряжении 220 В ток замыкания на землю составит 27,5 А, что соответствует нагрузке 6 кВт. Следовательно, при пробое изоляции в сетях с защитой, рассчитанной на большую мощность, отключение не произойдет.

В системах ИТ основным средством защиты является заземление, которое должно сочетаться с контролем сопротивления изоляции или защитным отключением.

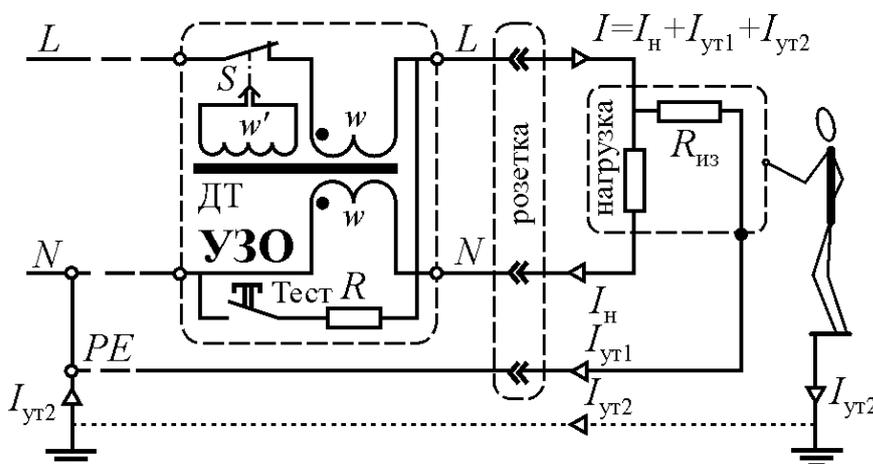


Рис. 14.8

Защитное отключение является современным эффективным средством защиты для любой системы питания. Оно реализуется с помощью устройств защитного отключения (УЗО), основным элементом которых является дифференциальный трансформатор

(ДТ) (рис. 14.8). Он представляет собой трансформатор с двумя одинаковыми обмотками w , включёнными последовательно встречно в линейный и нулевой провод цепи питания нагрузки. При одинаковых токах в обеих обмотках магнитный поток в сердечнике трансформатора равен нулю. Соответственно равна нулю и ЭДС, наводимая этим потоком в третьей обмотке (w'). Если через изоляцию нагрузки ($R_{из}$) происходит утечка, то токи в линейном проводе L и в нулевом рабочем проводе N будут отличаться и в обмотке управления трансформатора w' появится ЭДС, величина которой будет пропорциональна разности токов, т.е. току утечки $I_{ут1} + I_{ут2}$. Причём, путь, по которому происходит утечка тока не имеет значения, и устройство одинаково реагирует как на старение или пробой изоляции ($I_{ут1}$), так и на прямое или косвенное прикосновение человека к токоведущим частям установки ($I_{ут2}$). При превышении током утечки заданного порогового значения сигнал с обмотки управления воздействует на ключ S и отсоединяет нагрузку от линейного провода. Ток срабатывания УЗО составляет величину не более 30 мА, а время срабатывания не превышает 10 мс, что практически полностью обеспечивает безопасность людей. Однако для повышения надёжности в УЗО

предусмотрен режим тестирования исправности, когда с помощью кнопки «Тест» имитируется утечка с номинальным пороговым значением.

Понижение напряжения до безопасного уровня (менее 42 В) широко используется на производстве для питания ручного электроинструмента и местного освещения. Однако при этом не исключается опасность пробоя изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений понижающего трансформатора, имеющего обычное исполнение, и поражение электрическим током, т.к. вторичная обмотка понижающего трансформатора и корпус должны быть заземлены или занулены. В ответственных случаях используют *разделительные трансформаторы*. Они имеют специальную конструкцию с усиленной изоляцией и заземлённым экраном между обмотками, исключающим возможность перехода напряжения первичной обмотки на вторичную при пробое изоляции. Напряжение вторичной обмотки разделительного трансформатора ограничено 380 В, и к нему можно подключать только один приёмник с мощностью соответствующей току первичной обмотки не превышающему 15 А. При этом не допускается заземление вторичной обмотки.

В некоторых случаях, например, для переносных приёмников защиту от поражения током осуществляют с помощью *двойной или усиленной изоляции*. При использовании двойной, т.е. рабочей и защитной изоляция проводников, предполагается, что повреждение одной из её составляющих не приводит к появлению опасных напряжений в местах доступных прикосновению. Усиленная изоляция в соответствии с требованиями ПУЭ должна обеспечивать степень защиты эквивалентную двойной изоляции.

Вопросы для самопроверки

1. Какая величина тока смертельно опасна для человека?
2. Какой вид тока более опасен постоянный или переменный?
3. Почему прикосновение двумя руками к токоведущим элементам оборудования наиболее опасно?
4. Почему сеть с изолированной нейтралью считается более безопасной?
5. Почему для электроснабжения жилых зданий и освещения используют сети с глухозаземлённой нейтралью?
6. Какую опасность для человека создаёт пробой изоляции электрооборудования?
7. Что такое напряжение прикосновения и напряжение шага?
8. Какие меры предусмотрены правилами устройства электроустановок для защиты людей от поражения электрическим током?
9. Что такое заземление (зануление)?
10. Что такое рабочий, защитный и совмещённый нулевой провод?
11. Что такое защитное отключение?
12. Как работает устройство защитного отключения?

13. От каких опасных ситуаций в сети защищает устройство защитного отключения?
14. Какой уровень напряжения считается безопасным для человека?
15. Чем отличаются трансформаторы, используемые для понижения напряжения и для разделения электрических цепей?