

119-120 Общие сведения о защитном заземлении

При повреждении изоляции электрооборудования различные его металлические нетокопроводящие части могут случайно оказаться под напряжением, создавая опасность поражения человека электрическим током. Прикасаясь к оборудованию с поврежденной изоляцией, человек становится проводником для тока в землю.

Токи от 0,05 до 0,1 А опасны для человека, а токи выше 0,1 А смертельны.

Значение тока, проходящего в землю, зависит от электрического сопротивления тела человека и напряжения поврежденной установки. Сопротивление тела человека колеблется в широких пределах: от нескольких сотен до тысяч Ом, поэтому опасность для его жизни и здоровья могут представлять установки и с относительно небольшим напряжением по отношению к земле.

Напряжением относительно земли при замыкании на корпус является напряжение между этим корпусом и точками земли, находящимися вне зоны растекания токов в земле (но не ближе 20 м от этой зоны).

Одной из основных мер защиты людей от поражения электрическим током при прикосновении к установкам, случайно оказавшимся под напряжением, является устройство защитного заземления.

Заземлением называют преднамеренное электрическое соединение какой-либо части установки с землей, выполняемое при помощи заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлителем называют металлический проводник или группу проводников (электродов), заложенных в грунт.

Заземляющими проводниками называют металлические проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителями.

Заземляющим устройством называют совокупность заземлителей и заземляющих проводников. Безопасность людей достигается только в том случае, если заземляющее устройство будет иметь во много раз меньшее сопротивление, чем наименьшее сопротивление тела человека.

Сопротивлением заземляющего устройства называется сумма сопротивлений заземлителя относительно земли и заземляющих про-

водников, и оно должно быть в пределах, определенных предварительным расчетом. Максимально допустимые сопротивления заземляющих устройств определяются напряжением установки, значениями токов замыкания на землю, наличием нейтрали и некоторыми другими условиями и устанавливаются действующими ПУЭ. Ток замыкания на землю — ток, проходящий через землю в месте замыкания.

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции металлические нетокопроводящие части электрооборудования заземляют. Комплекс мер и технических устройств, предназначенных для этой цели, называют *защитным заземлением*, т. е. защитное заземление представляет собой преднамеренное соединение с землей посредством заземляющих проводников и заземлителей нетокопроводящих металлических частей электроустановок (рукояток приводов разъединителей, кожухов трансформаторов, фланцев опорных изоляторов, корпусов измерительных трансформаторов и др.).

Задача защитного заземления заключается в создании между металлическими конструкциями или корпусом защищаемого устройства и землей электрического соединения достаточно малого сопротивления; при однофазных замыканиях на землю или на корпус токопроводящих поврежденных частей электроустановок такое соединение обеспечивает снижение тока до значения, не угрожающего жизни и здоровью человека, так как электрическое сопротивление его тела во много раз больше сопротивления металлического проводника, соединенного с землей. Замыкание на землю — это случайное электрическое соединение находящихся под напряжением частей электроустановки непосредственно с землей или с ее конструктивными частями, не изолированными от земли.

Защитное заземление применяется во всех сетях с изолированной нейтралью и в сетях с напряжением выше 1000 В с заземленной нейтралью. В последних токи однофазного замыкания протекают через землю и вызывают отключение аварийного участка.

В сети с глухозаземленной нейтралью электроприемники получают питание от обмоток источника тока, соединенных в звезду, нулевая точка которой надежно соединена с землей. Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Заземление нейтрали. В ПУЭ указывается, что городские электрические сети напряжением свыше 1000 В должны выполняться трехфазными с изолированной нейтралью, а распределительные сети в новых городах — трехфазными четырехпроводными с глухозаземленной нейтралью при напряжении 380/220 В. Однако распространены также сети с напряжением 220/127 В с изолиро-

ванной нетрально, в которых применяются пробивные предохранители.

Обмотки силовых трансформаторов отечественного производства с напряжением 110 кВ и выше также рассчитываются на работу с заземленной нейтралью, так как они имеют неполную изоляцию нулевых выводов.

Рассмотрим, зачем в сетях до 1000 В заземляют нейтраль, по каким причинам иногда отдают предпочтение изолированной нейтралю и для чего служат пробивные предохранители.

На рис. 5.1, а показаны вторичные обмотки трансформатора Тр, питающего четырехпроводную сеть напряжением 380/220 В, нейтраль которой изолирована. Пусть в рассматриваемый момент изоляция совершенно исправна. Тем не менее три сопротивления R , соединенные в звезду, нейтралью которой является земля, условно

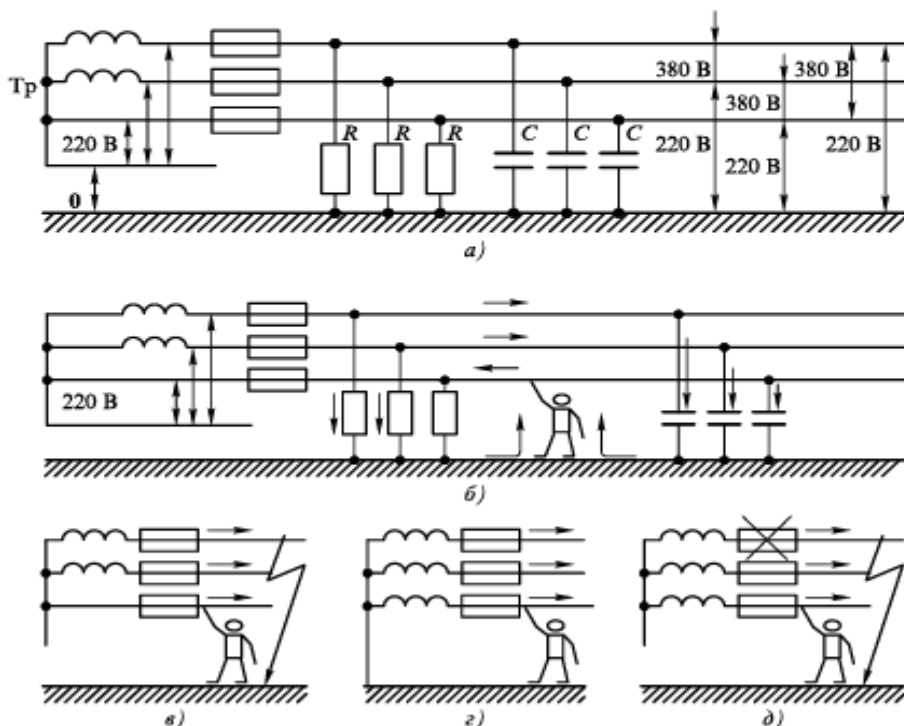


Рис. 5.1. Схема трехфазной сети с изолированной нейтралью (а) и режимы ее работы при прикосновении человека к линейному проводу (б); заземлении одного линейного провода и прикосновении человека к другому (в); прикосновении человека к линейному проводу в системе с заземленной нейтралью (г) и в системе с заземленной нейтралью и другим линейным проводом (д)

показывают несовершенство изоляции проводов, которая в какой-то степени все же проводит ток. Три конденсатора C , соединенные в звезду, нейтралью которой также служит земля, условно изображают электрическую емкость проводов относительно земли, что в электроустановках переменного тока весьма важно, так как емкость проводит переменный ток.

Какие же напряжения действуют в рассматриваемой электроустановке? Между линейными проводами напряжение 380 В, а между каждым линейным проводом и нейтралью трансформатора — 220 В, так как земля оказалась нейтралью соединений звезд из трех равных сопротивлений R и трех равных емкостей C . Если же линейный провод относительно нейтрали трансформатора имеет такое же напряжение, как и относительно земли, то между нейтралью трансформатора и землей напряжение равно нулю, но, конечно, только если сеть не нагружена либо нагрузка всех фаз совершенно одинакова.

Прикосновение человека, стоящего на земле, к одному из линейных проводов небезопасно, так как через несовершенную изоляцию провода и тело человека пройдет ток (рис. 5.1, б). Сила этого тока, а следовательно, и степень опасности определяются значениями сопротивлений, емкостей конденсаторов и фазным напряжением. Иными словами, в этом случае человек находится под напряжением 220 В.

Но что произойдет, если один из линейных проводов заземлится, а человек, стоящий на земле, прикоснется к другому линейному проводу? Из рис. 5.1, в видно, что человек окажется теперь не под фазным, а под линейным напряжением 380 В, что значительно опаснее.

В сетях с заземленной нейтралью человек, стоящий на земле и прикоснувшийся к линейному проводу, попадает под фазное напряжение (рис. 5.1, г). Если при этом заземлится другой линейный провод (рис. 5.1, д), то предохранитель перегорит, но повышения напряжения с фазного до линейного (как в сетях с изолированной нейтралью) не произойдет.

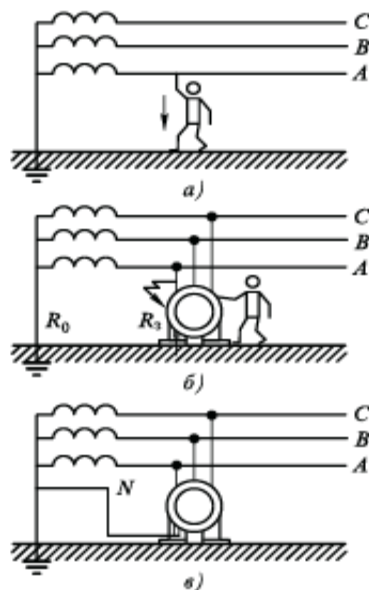


Рис. 5.2. Работа схемы трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью при прикосновении человека к токопроводящему проводу (а), заземлении (б) и занулении (в) электродвигателя

Прикосновение к токопроводящему элементу в сети с глухозаземленной нейтралью очень опасно, так как при этом образуется замкнутая цепь (рис. 5.2, а), по которой под действием напряжения с фазы А через тело человека, обувь, пол, землю и заземление нейтрали течет поражающий ток. Опасно также прикосновение к электроприемнику, в котором произошло замыкание на заземленный корпус.

Рассмотрим следующий пример. Пусть сопротивление заземления электродвигателя (рис. 5.2, б) $R_3 = 3,5$ Ом, а сопротивление заземления нейтрали $R_0 = 0,5$ Ом. При замыкании фазы А на корпус в замкнутой цепи, образованной обмоткой источника, проводом фазы А, корпусом и заземлением двигателя, а также землей и заземлением нейтрали, потечет ток. При фазном напряжении, равном 220 В, можно пренебречь сопротивлением сети, корпуса и земли и подсчитать силу тока однофазного замыкания на землю:

$$I_{0.3} = U_{\phi} / (R_0 + R_3) = 220 / (0,5 + 3,5) = 55 \text{ А.}$$

Этот ток создает падение напряжения на заземлении нейтрали

$$U_0 = I_{0.3} R_0 = 55 \cdot 0,5 = 27,5 \text{ В}$$

и на заземлении двигателя

$$U_3 = I_{0.3} R_3 = 55 \cdot 3,5 = 192,5 \text{ В.}$$

Таким образом, между заземленным корпусом электродвигателя и землей возникает достаточно опасное напряжение 193 В, и человек, прикоснувшийся к корпусу, может получить сильный удар током. Поэтому в установках напряжением 220/380 В применяется система заземления, при которой все металлические нетокопроводящие части оборудования электрически соединяются не с землей, а с заземленной нейтралью источника. Это соединение осуществляется через нулевой провод сети (нулевой рабочий провод) или специальный нулевой защитный провод (рис. 5.2, в) и называется занулением. Предположим, что в сети с занулением произошел пробой изоляции фазы А. Поскольку сеть состоит из металлических частей, в ней нет участков со сколько-нибудь значительным сопротивлением. Поэтому любое замыкание токопроводящих частей на зануленный корпус является коротким замыканием, при котором поврежденный участок немедленно отключается защитной аппаратурой (предохранителями или автоматами). В этом и состоит защитная роль зануления.

Кроме обеспечения минимального сопротивления заземляющего устройства, важно также обеспечить равномерное распределение напряжения вокруг защищаемого аппарата и по всей площади электроустановки (например, подстанции). Максимальный

потенциал (U_3) имеют заземлитель, соединенный с корпусом поврежденного аппарата, и грунт, соприкасающийся с заземлителем. По мере удаления от заземлителя потенциал на поверхности земли падает, достигая постепенно нулевого значения (за пределами 15...20 м). Сопротивление грунта на этом расстоянии называется *сопротивлением растеканию*.

Человек, прикасающийся к корпусу аппарата с поврежденной изоляцией, оказывается под напряжением, значение которого определяется падением потенциала на участке между точкой прикосновения его к аппарату и точкой касания земли ногами (участок длиной около 0,8 м). Это напряжение называется *напряжением прикосновения* ($U_{\text{прик}}$). Между ступнями человека, приближающегося к поврежденному аппарату, также будет разность потенциалов, называемая *напряжением шага* ($U_{\text{шаг}}$), значение которого зависит от ширины шага и расстояния до места повреждения.

Рассмотрим это более подробно. Напряжение шага и напряжение прикосновения возникают, если в заземленной сети происходит однофазное замыкание на землю. Пусть через вертикальный заземлитель 3 (рис. 5.3), расположенный в точке 0, в землю течет ток однофазного замыкания. По мере удаления от заземлителя плотность тока и вызываемое им падение напряжения непрерывно уменьшаются, т.е. если в точке 0 максимальный потенциал (равный падению напряжения на самом заземлителе), то потенциал в точке грунта, расположенной далее 20 м от заземлителя, практически равен нулю. Изменение потенциала грунта в зависимости от расстояния до точки 0 характеризуется кривой АМ. Разделив расстояние 0М на отрезки длиной 0,8 м (средняя ширина шага человека), по этой кривой легко узнать, под какое напряжение попадет человек, находящийся на определенном расстоянии от заземлителя. Например, если ноги идущего человека находятся на

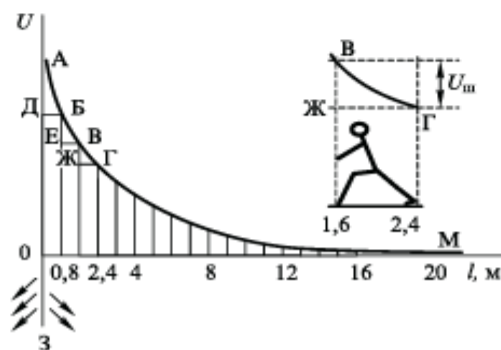


Рис. 5.3. Схема возникновения шагового напряжения

расстояниях 1,6 и 2,4 м от заземлителя, то потенциалы грунта характеризуются точками В и Г кривой АМ, а отрезок ВЖ в определенном масштабе определяет разность потенциалов, т.е. напряжение.

Напряжение, под которым может оказаться человек, идущий в зоне растекания по земле тока однофазного замыкания, называют *напряжением шага*. Это напряжение уменьшается по

мере удаления от заземлителя ($ВЖ < БЕ < АД$) и на расстоянии более 20 м от заземлителя оно практически исчезает.

Поражения людей из-за появления напряжения шага в случае однофазного замыкания на землю очень редки вследствие малых значений этого напряжения. Но если это напряжение возникает при падении на землю оборвавшегося провода воздушной линии, оно может достигать больших значений. В таких случаях выходить из зоны действия напряжения шага следует, используя сухие доски, листы пластика и другие изоляционные материалы, а при их отсутствии — мелкими шагами.

Опасно также напряжение, возникающее при работе защитного заземления, в режиме однофазного замыкания на землю. Если через заземлитель в землю течет ток I_3 , то на сопротивлении заземляющего устройства R_3 он создает падение напряжения $I_3 R_3$, т. е. напряжение прикосновения. Прикасаясь в этом случае к корпусу аппарата с поврежденной изоляцией, человек может попасть либо под полное напряжение $I_3 R_3$, либо под его часть. Наиболее опасны случаи, когда приемник с поврежденной изоляцией и человек, прикоснувшийся к нему, находятся на расстояниях более 20 м от заземлителя, и если человек стоит непосредственно на земле в сырой или подбитой гвоздями обуви.