

установленного значения 50 В, должно выполняться следующее соотношение:

$$\frac{R_b}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50},$$

где R_b — суммарное сопротивление всех заземлителей, соединенный параллельно;

R_E — минимальное сопротивление заземлителя сторонних проводящих частей, не присоединенных к защитному проводнику и оказавшихся в цепи замыкания фазы на землю;

U_0 — номинальное действующее значение напряжения.

При этом сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2,4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN-проводника ВЛ до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух. При этом сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

При удельном сопротивлении горной породы более 100 Ом · м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01ρ раз, но не более чем в десять раз.

4.8.18. На ВЛ зануление должно быть осуществлено PEN-проводником, проложенным на тех же опорах, что и фазные провода.

На концах ВЛ (или ответвлений от них) длиной более 200 м, а также на вводах от ВЛ к электроустановкам, которые подлежат занулению, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом в первую очередь, следует использовать естественный заземлитель, например, подземные части опор (см. 5.9.1), а также заземляющие устройства, выполненные для защиты от грозových перенапряжений.

Повторные заземления PEN-проводника в сетях постоянного тока должны быть осуществлены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами. Заземляющие устройства на ВЛ постоянного тока, выполненные для защиты от грозových перенапряжений (см. 2.4.26), рекомендуется использовать для повторного заземления PEN-проводника.

Заземляющие проводники для повторных заземлений PEN-проводника должны быть выбраны из условия длительного прохождения тока не менее 25 А. По механической прочности эти проводники должны иметь размеры не менее приведенных в табл. 5.3.1.

4.8.19. Общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

При удельном сопротивлении земли ρ более 100 Ом · м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01ρ раз, но не более чем в десять раз.

4.9. Система ТТ

Система ТТ заземляется у источника питания. Для защиты от повреждения может быть использовано или защитное устройство от сверхтока или защитно-отключающее устройство. Устройство защиты от сверхтока и защитно-отключающее устройство характеризуются различной чувствительностью.

Устройство защиты от сверхтока должно быть способно длительно пропускать номинальный ток. В случае повреждения оно должно отключать цепь за время, не превышающее нескольких секунд. Для этого значение тока повреждения должно значительно превосходить значение номинального тока. Защитно-отключающие устройства чувствительны к весьма небольшим разностям токов в проводниках, питающих нагрузку. Эти разности возникают когда возникают повреждения, связанные с утечкой тока на землю. В идеальном случае разностный ток должен быть равен нулю. Практически, установившийся разностный ток в обычной электрической цепи, не имеющей повреждения, может достигать нескольких миллиампер. Требования, предъявляемые к устройствам защитного отключения, предусматривают чувствительность к малым разностным токам, отсутствие ложных срабатываний и надежность.

4.9.1. Защитное заземление с устройствами защиты от сверхтоков

На рис. 4.11. показано защитное заземление в системе ТТ и его связь с устройством защиты от сверхтока.

Замыкание, показанное на рис. 4.11, связывает токоведущую часть с доступными прикосновению открытыми проводящими частями одного из изображенных на рисунке потребителей. Ток замыкания стекает в землю через

заземляющие проводники и возвращается к источнику питания через заземляющее устройство.

Для того, чтобы устройство защиты от сверхтока ограничивало опасность поражения во время замыкания, сопротивление цепи обратного тока (ЦОТ) между корпусом оборудования и землей, определяемое сопротивлением растеканию заземляющих электродов, должно быть меньше или равно предельно допустимого значения напряжения, приложенного к ОПЧ в течение бесконечно большого времени, деленного на ток замыкания, проходящий через устройство защиты от сверхтока и заземляющее устройство. Если это не так, напряжение на ОПЧ электрооборудования может быть опасно в период замыкания. Ток замыкания равен напряжению источника, деленному на сумму сопротивлений проводников, сопротивления контактов в месте замыкания, сопротивления заземляющего устройства оборудования и результирующее сопротивление растеканию источника энергии. Для того, чтобы иметь время срабатывания устройства защиты от сверхтока в пределах нескольких секунд, ток замыкания должен быть в несколько раз выше уставки устройства.

4.9.2. Защитное заземление с УЗО-Д

Защитно-отключающее устройство (УЗО-Д), имеющее дифференциальный ток уставки не более 0,5 А, будет быстро отключать, несмотря на высокое сопротивление, и, следовательно, малое значение тока замыкания. Рис. 4.12. иллюстрирует защитное заземление в системе ТТ и его связь с УЗО-Д.

Замыкание, изображенное на рис. 4.12, связывает токоведущую часть с ОПЧ электроустановки потребителя. Ток замыкания стекает в землю через заземляющие проводники и возвращается к источнику питания через заземляющие электроды. Но в рассматриваемом случае ток замыкания протекает через УЗО-Д. УЗО-Д срабатывает из-за превышения его уставки током, протекающим через него к нагрузке, но не возвращающимся через него.

Для ограничения опасности поражения электрическим током сопротивление между ОПЧ и землей должно быть меньше или равно предельно допустимого значения напряжения при замыкании, деленного на ток уставки УЗО-Д.

Как и в предыдущем случае при рассмотрении устройства защиты от сверхтока ток замыкания равен напряжению источника питания по отношению к земле (фазному напряжению), деленному на сумму сопротивления проводников, заземляющего устройства электроустановки потребителя (защищаемой электроустановки) и эквивалентного сопротивления растеканию источника питания. Следует заметить, что сопротивление петли замыкания существенно меньше критического значения, требуемого для работы УЗО-Д.

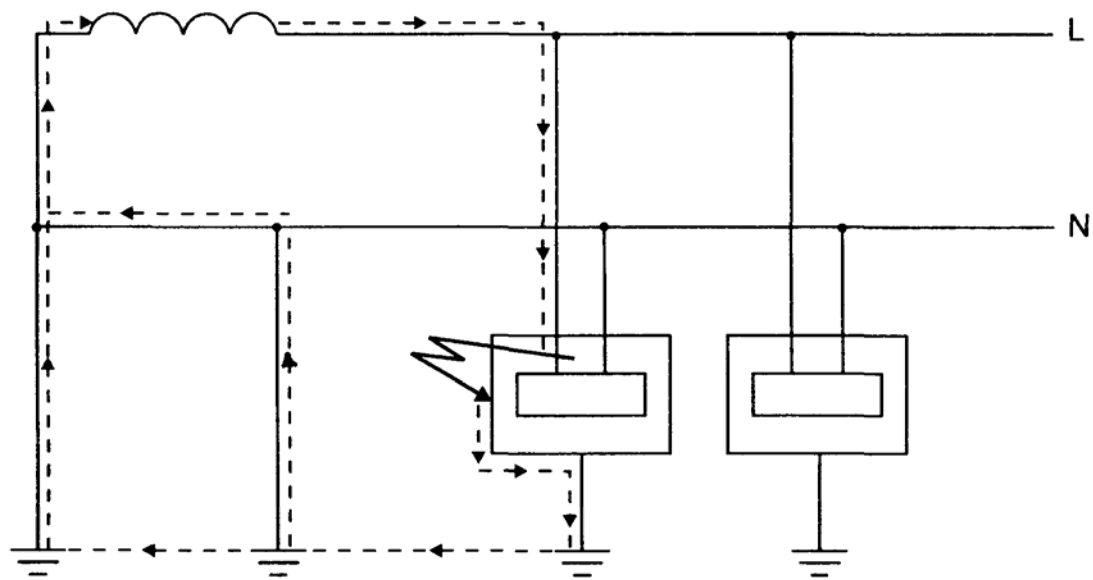


Рис. 4.11. ОКЗ в системе ТТ

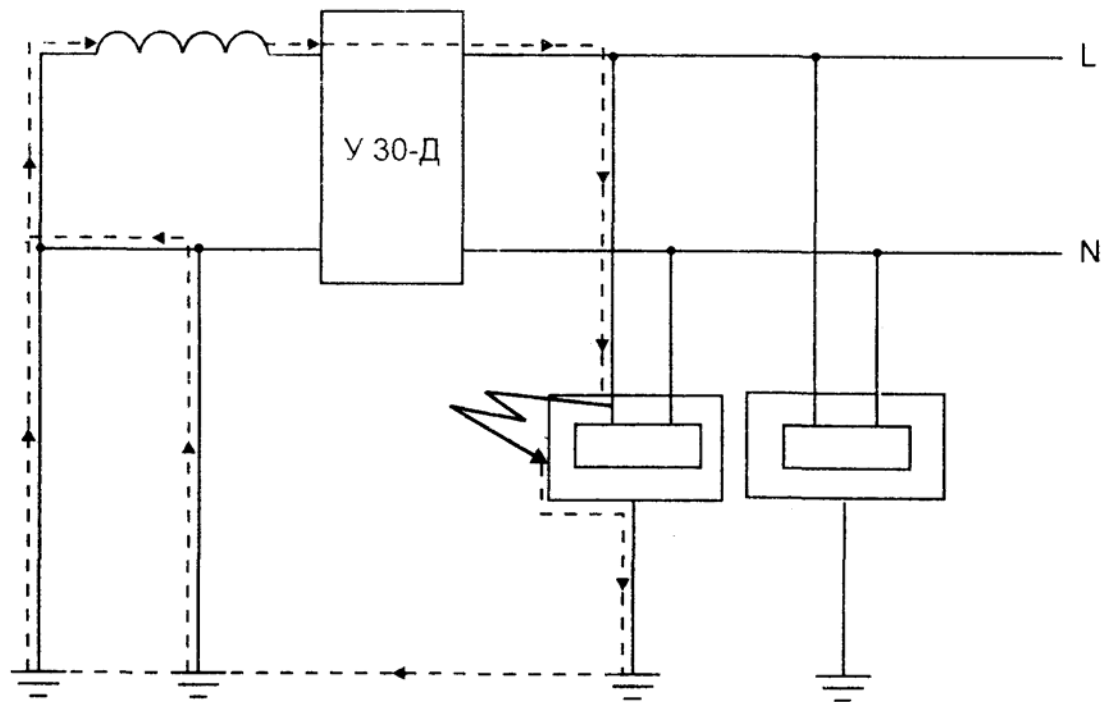


Рис. 4.12. ОКЗ в системе ТТ+УЗО-Д

4.9.3. Напряжения в системе ТТ при замыкании

В системе ТТ нулевой рабочий проводник заземлен во многих точках между питающим трансформатором и электроустановками потребителя. Следовательно, сопротивление растеканию заземлителей, связанных с нулевым рабочим проводником, мало. Напряжение на нулевом рабочем проводнике остается низким (приблизительно 20 В) по отношению к условной земле, когда ток от фазного проводника протекает по РЕ-проводнику.

Однако, напряжение на РЕ-проводнике (и на всех частях, связанных с ним) по отношению к условной земле может быть высоким (приблизительно 200 В), когда ток замыкания протекает через заземляющие проводники, связывающие РЕ-проводник и заземляющее устройство электроустановки потребителя.

Рис. 4.13. иллюстрирует различные возможные замыкания в установке потребителя, защищаемой защитным заземлением для УЗО-Д (система ТТ). Как правило, сопротивление этого заземлителя выше чем другие сопротивления в петле замыкания. Замыкание на землю вызывает напряжение замыкания, приблизительно равное фазному напряжению системы. Более низкие значения напряжения могут быть результатом следующих случаев:

если фазное напряжение распределяется между частью внутреннего сопротивления электроприемника и сопротивлением растеканию заземляющего устройства этого электроприемника (см. Случай 3 на рис. 4.13), или, если повреждение изоляции развивается медленно, вызывая медленный рост тока замыкания. Эти два случая маловероятны. Поясним случаи, представленные на рис. 4.13.

Случай 1 — Повреждение изоляции между фазным проводником и РЕ-проводником. Напряжение повреждения достигает 200 В.

Случай 2 — Повреждение изоляции между нулевым рабочим проводником и РЕ-проводником. Напряжение повреждения не превышает 20 В.

Случай 3 — Повреждение изоляции внутри электроприемника (нагревательные элементы, обмотки двигателей и т. д.). Напряжение повреждения определяется местом повреждения и может изменяться от нуля до 200 В при фазном напряжении 220 В.

Развитие тока повреждения может происходить по трем возможным сценариям.

1. Металлический контакт между токоведущими частями и РЕ-проводником или проводящими частями (ОПЧ и СПЧ), связанными с РЕ-проводником.

2. Перекрытие, обусловленное перенапряжением.

3. Утечка, развивающаяся по поверхности изоляции.

В случаях 1 и 2 ток повреждения возрастает мгновенно. В случае 3 ток утечки остается очень малым (значительно ниже одного ампера) до тех пор, пока не произойдет пробой.

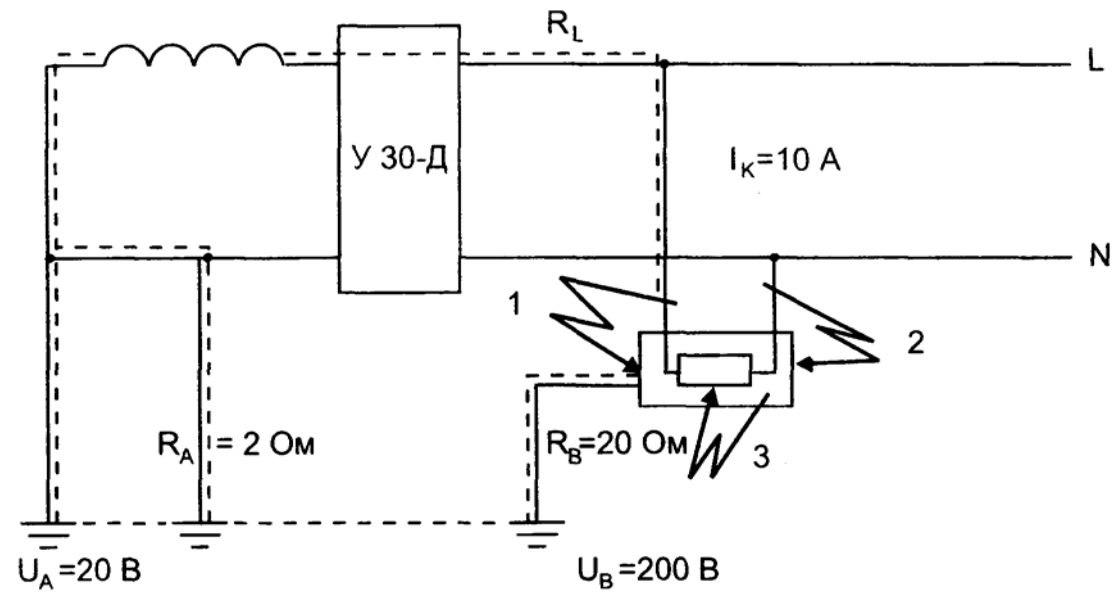


Рис. 4.13. Варианты ОКЗ в системе ТТ

4.10. Система IT

4.10.1. Особенности применения УЗО-Д в системе IT. Непрерывный контроль изоляции

Источник питания изолирован от земли или соединен с землей через сопротивление или воздушный промежуток. Открытые проводящие части электроприемника связаны с землей посредством заземляющего устройства.

Напряжение по отношению к земле

Не существует систем, расположенных вблизи от земли, которые можно было бы считать абсолютно от нее изолированными. В действительности, между землей и различными токоведущими частями, включая провода, кабели и связанное с ними электрооборудование, имеется активная утечка и емкостная проводимость.

Если сопротивления между каждым из фазных проводников и землей равны между собой, то напряжение между каждым проводником и землей также будут равны между собой. Например, напряжение между каждым фазным проводником и землей в практически уравновешенной трехфазной системе IT с линейным напряжением 230 В, измеренное вольтметром с высоким внутренним сопротивлением, будет находиться в диапазоне 110...160 В.

Как правило, в системах IT сравнительно небольшой протяженности сопротивление между фазным проводником и землей составляет несколько сотен килоом за счет емкости сети. Если между одним из фазных проводников системы IT и землей в результате повреждения изоляции возникнет глухое соединение, напряжение между этим проводником и землей практически упадет до нуля. В то же время напряжение двух других фазных проводников в системе IT возрастет практически до значения линейного напряжения (см. рис. 4.14). На рис. 4.14 показана система IT в нормальном режиме и при замыкании одной из фаз (L_3) на землю. Векторные диаграммы изображают напряжения отдельных фаз по отношению к земле при нормальном режиме и при однофазном замыкании на землю. При нормальной эксплуатации системы напряжения фазных проводников по отношению к земле приблизительно одинаковы (по модулю). В идеале при полностью уравновешенной системе напряжение между каждым фазным проводником и землей будет равно линейному напряжению, разделенному на $\sqrt{3}$. В случае однофазного замыкания (см. рис. 4.14) фаза L_3 приобретает потенциал земли, а потенциал двух других фаз становится равным линейному напряжению.

При возникновении однофазного замыкания под действием линейных напряжений, приложенных к двум другим фазным проводникам, через замкнутые контуры, образованные емкостной проводимостью между фазными проводниками и землей, будет протекать ток, значение которого составляет для относительно коротких линий несколько миллиампер, а для протяженных линий — несколько ампер.

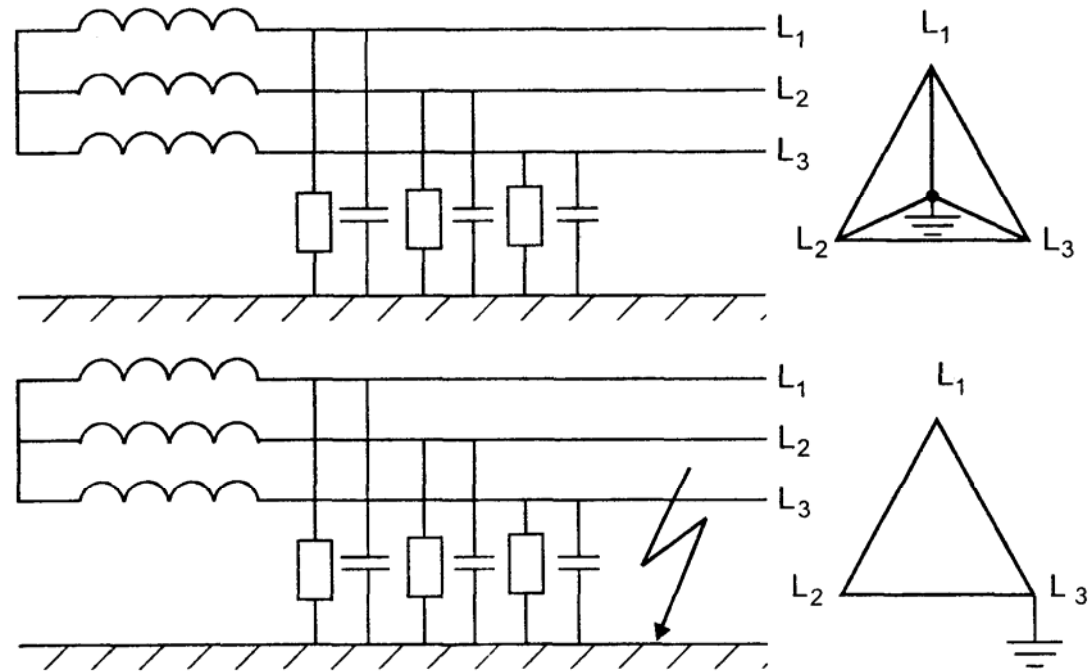


Рис. 4.14. Потенциалы фаз в системе IT при нормальном режиме и при замыкании на землю

Если возникает двойное замыкание на землю, включающее не менее двух фазных проводников, образуется короткозамкнутая петля с возвратом тока через землю.

Возникающие при аварийных режимах потенциалы должны быть приняты во внимание при выборе мер защиты от косвенного прикосновения (защиты при повреждении изоляции) для правильного установления расстояний утечки, воздушных промежутков (зазоров), для надлежащего выбора устройств защиты от перенапряжений и для рассмотрения вопросов, связанных с обеспечением допустимых напряжений прикосновения.

Необходимо иметь в виду, что однофазные замыкания в системе IT возникают часто и могут оставаться незамеченными достаточно долго, поскольку ток замыкания не достигает значения тока уставки устройства защиты от сверхтока. Если все доступные проводящие части заземлены, опасности нет. Проводник поврежденной фазы и все доступные проводящие части имеют потенциал земли.

Однако, если при этом возникает повреждение изоляции между вторым фазным проводником и землей, ток замыкания будет протекать через оба повреждения последовательно. Если оба повреждения произошли в пределах одной эквипотенциальной системы, ток замыкания будет протекать по защитным проводникам оборудования. В этом случае ток замыкания будет достаточно высок для срабатывания устройства защиты от сверхтока (см. рис. 4.15).

Рис. 4.15 иллюстрирует случай, когда оборудование связано защитным проводником и ток замыкания не протекает через землю. Другая картина возникает, когда нет защитного проводника, связывающего повреждаемое оборудование. В этом случае ток замыкания протекает через заземляющий проводник и заземлители в землю. Эти заземляющие устройства могут иметь сопротивление не менее нескольких десятков Ом каждое.

Напряжение между двумя частями поврежденного оборудования и между каждой частью оборудования и землей может значительно превышать предельно допустимые значения с учетом времени срабатывания защиты. Напряжение между двумя частями поврежденного оборудования равно линейному напряжению (рис. 4.16).

Если, например, линейное напряжение равно 230 В и сопротивления заземляющих устройств равны 12 Ом и 8 Ом, соответственно, ток замыкания равен 11,5 А (230 В/20 Ом). Напряжения на открытых проводящих частях оборудования составят 138 В и 92 В, соответственно. В этом случае ток, могущий протекать через тело человека, касающегося ОПЧ, будет смертельно опасным.

Системы IT большой протяженности представляют повышенную опасность при контакте человека с фазным проводником и землей (прямой контакт). Сопротивление между токоведущими частями и землей недостаточно высоко, чтобы снизить ток через тело человека до безопасного уровня.

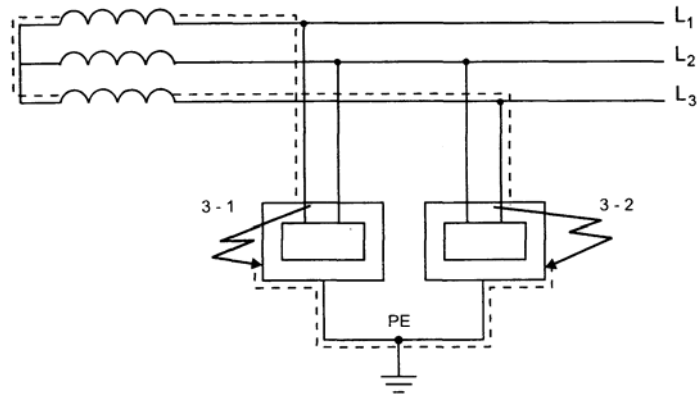


Рис. 4.15. Двойное замыкание в системе IT, оборудование соединено посредством РЕ-проводника

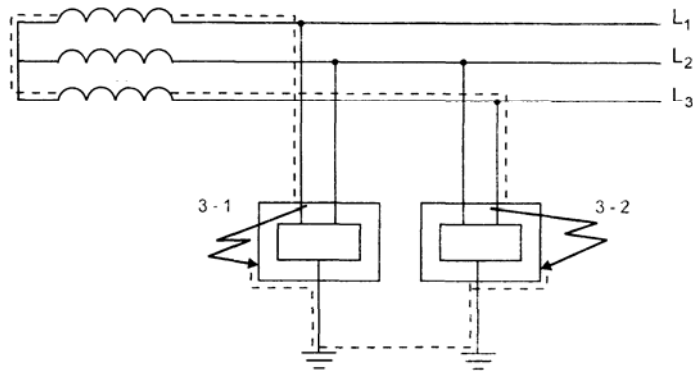


Рис. 4.16. Двойное замыкание в сети IT при отсутствии преднамеренного соединения оборудования

Токи утечки стекают в землю при нормальном режиме, а также при повреждении изоляции между фазными проводниками и землей.

Эти токи протекают через активную и емкостную проводимость между землей и частями, связанными с фазными проводниками и подключенным электрооборудованием.

Нормальный режим (режим, при котором отсутствуют повреждения изоляции). Если все фазные проводники имеют одинаковую активную утечку изоляции и одинаковую емкостную проводимость между проводником и землей, то с каждого фазного проводника стекают в землю токи, амплитуды которых одинаковы. Поскольку активная проводимость (утечка через изоляцию) намного меньше емкостной проводимости, результирующий ток утечки I может быть рассчитан по упрощенной формуле:

$$I = U_{\phi} \omega C$$

или

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{\omega} C$$

$$(R_y \gg 1/\omega C),$$

где $\omega = 2\pi f$.

Единственное повреждение изоляции

Когда в уравновешенной трехфазной системе ИТ возникает повреждение изоляции одного из фазных проводников, потенциал этого проводника по отношению к земле становится близким к нулю, а напряжение по отношению к земле двух других фазных проводников возрастает в $\sqrt{3}$ раз, становясь равным линейному напряжению. Однако, при единственном повреждении сопротивление петли, в которую включено линейное напряжение, слишком высоко, чтобы позволить току замыкания достигнуть уставки устройства защиты от сверхтока.

Ток утечки на землю каждого из двух фазных проводников с неповрежденной изоляцией может быть вычислен с помощью формулы

$$I = U_{\omega} C.$$

В табл. 4.11 даны значения емкости по отношению к земле для электрооборудования.

Полный ток замыкания на землю равен векторной сумме токов утечки неповрежденных фаз и может быть рассчитан по формуле

$$I_3 = \sqrt{3} U_{\omega} C.$$

Таблица 4.11. Емкость по отношению к земле электрооборудования

Оборудование	Емкость на землю, нФ
Персональный компьютер	23,3
Принтер	11,0
Стиральная машина	5,4
Посудомоечная машина	11,5
Микроволновая печь	17,0
Холодильник	1,6
Кухонный комбайн	10,7

Современные установки с электрическим обогревом пола часто имеют несколько сотен метров нагревательных кабелей. Емкость на землю этих кабелей составляет 0,3 мкФ/км. Сегодня в современном коттедже емкость фазы на землю составляет несколько десятков микрофарады.

Предположим, например, что в системе с изолированной нейтралью с линейным напряжением 230 В, имеющей емкость фазы — земля 0,3 мкФ, произошло замыкание одного из фазных проводников на землю. В этом случае ток замыкания на землю будет равен

$$I = \sqrt{3} \cdot 230 \omega C$$

$$I = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 2\pi 50 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6}$$

$$I = 37,5 \text{ мА}$$

В рассматриваемом случае замыкание одной из фаз линии, питающей потребитель, будет вызывать срабатывание УЗО-Д с током уставки 30 мА. Это замыкание, вызывающее протекание тока по петле от питающего трансформатора через УЗО-Д — неповрежденные фазные проводники — емкостную проводимость этих проводников на землю — землю и далее, минуя УЗО-Д, через поврежденную изоляцию фазного проводника к питающему трансформатору. Отключение источника питания, вызванное этим повреждением, было бы нежелательным для потребителя, поскольку замыкание на землю одной из фаз питающей системы не создает каких бы то ни было проблем для потребителя, связанных с бесперебойностью питания и безопасностью.

Опыт эксплуатации системы ИТ в Норвегии подтвердил высказанные соображения. В частности, после установки УЗО-Д частота нежелательных отключений при однофазных замыканиях резко возросла (рис. 4.17).

Более того, перенапряжения, вызываемые молнией и коммутацией, могут вызывать протекание емкостных токов, амплитуды которых в несколько раз превышают токи, обусловленные рабочим напряжением системы.

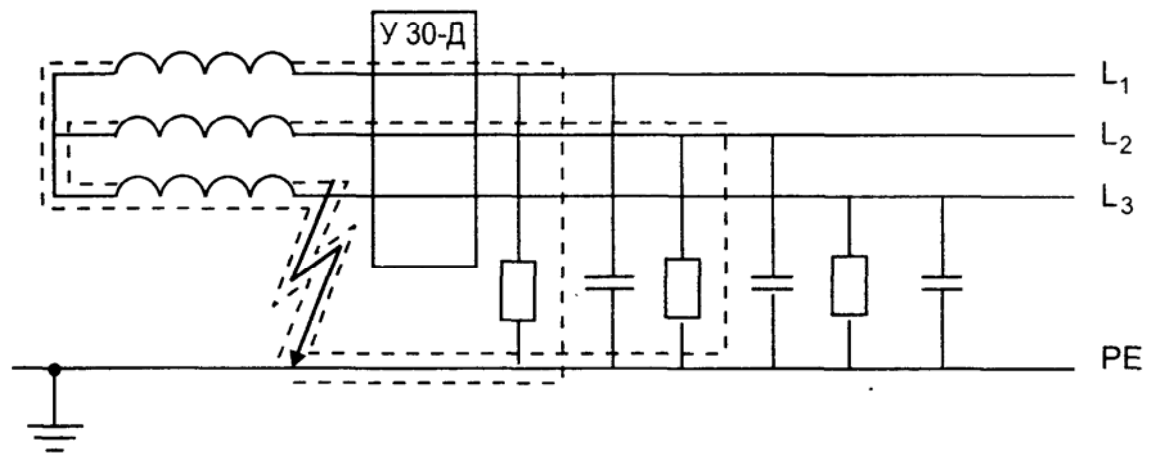


Рис. 4.17. Разностный ток при ОЗ в системе IT

Защитное отделение

Защитное отделение — метод защиты при повреждении, при котором

- 1) оборудование питается от вторичной обмотки разделяющего трансформатора, полностью изолированной от питающей первичной цепи;
- 2) проводники вторичной цепи не заземлены.

Защитное отделение широко используется для защиты электрических сетей сравнительно небольшой протяженности для одного или, реже, нескольких электроприемников. Метод обеспечивает защиту от электрического удара в случае прямого контакта с токоведущими частями отделенной цепи и в случае повреждения изоляции (защита при повреждении изоляции).

Защита от электрического удара с помощью защитного отделения обеспечивается только при условии, когда отсутствует связь с землей отделенной цепи. Повреждение изоляции проводников и оборудования может вызвать непреднамеренную связь с землей.

Активная и емкостная проводимость между отделенной цепью и землей должна быть достаточно мала, чтобы при прямом контакте ток через тело человека не был смертельным. Если ток будет ниже 30 мА, возникновение вентрикулярной фибрилляции мало вероятно.

Сопротивление тела человека, касающегося токоведущих частей или открытых проводящих частей поврежденного оборудования, включено последовательно с сопротивлением цепи. Это обстоятельство будет снижать ток, могущий протекать через человека.

Оценка предельно допустимой длины отделенной цепи должна быть основана на рассмотрении предельно допустимого тока прикосновения. Если в качестве предельно допустимого тока прикосновения принять 30 мА, то для изолированной вторичной однофазной цепи, питаемой напряжением 230 В, наименьшее допустимое полное сопротивление в цепи тока прикосновения должно быть 8 кОм.

В том случае, когда возникает вопрос о безопасности существующей отделенной цепи, должны быть выполнены прямые измерения тока прикосновения между изолированной цепью и заземленными проводящими частями. Если доступные проводящие части отсутствуют, может быть использована расположенная на полу металлическая пластина размером 25 × 25 кв. см. Цепь может считаться безопасной, если ток прикосновения, измеренный низкоомным амперметром, не превышает 30 мА.

На рис. 4.18 схематично показано защитное отделение и измерение тока прикосновения. Для защиты амперметра используется резистор, имеющий диапазон сопротивления от 5 до 100 кОм.

При определенных условиях нежелательно, а в ряде случаев, опасно — отключать питание потребителя. Например, внезапное отключение насоса на химическом предприятии может привести к производственной аварии. В тех случаях, когда необходимо поддерживать постоянное питание электроприемников, может быть использован непрерывный контроль изоляции

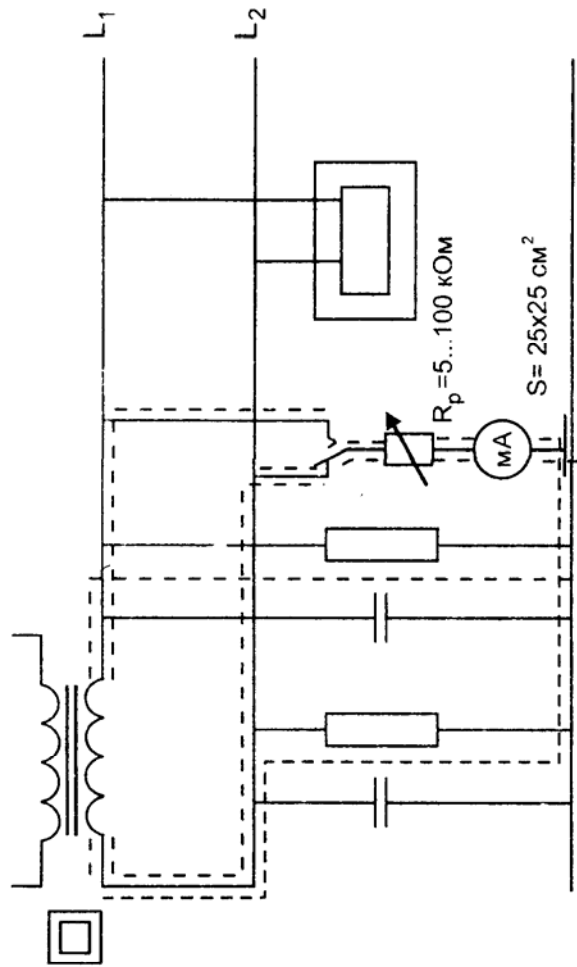


Рис. 4.18. Система защитного разделения с устройством измерения тока утечки

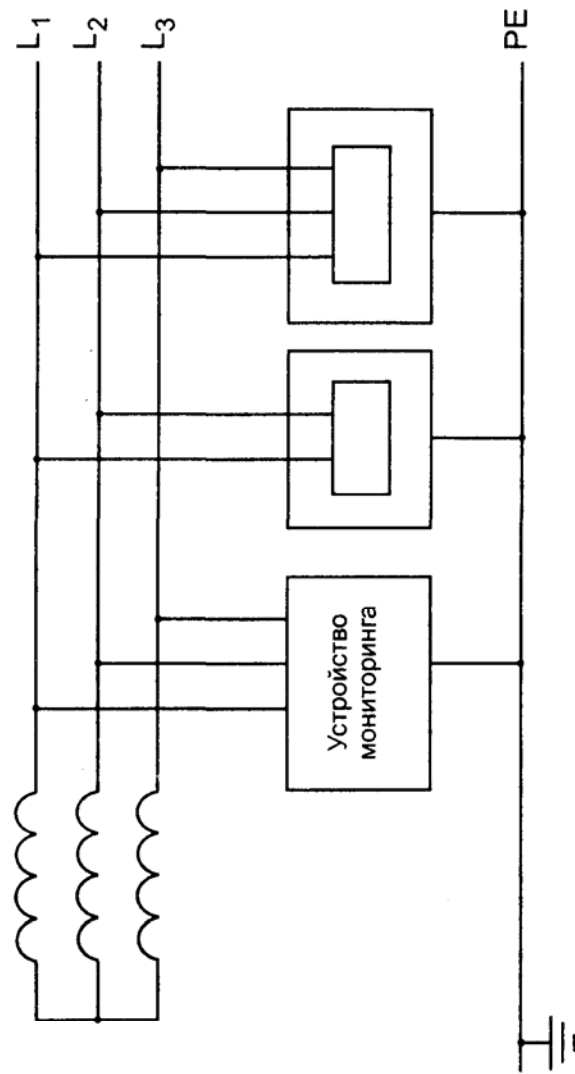


Рис. 4.19. Защитный мониторинг изоляции

установки (защитный мониторинг изоляции). Если при этом произойдет замыкание одной из фаз на землю, защита сработает на сигнал. Насосы будут продолжать работать до тех пор, пока это необходимо по условиям безопасности.

В протяженных промышленных сетях, питающихся от одного трансформатора, токи прикосновения, даже при нормальных условиях, могут достигать опасных значений из-за возможных случайных активных и емкостных утечек. Поэтому для сетей большой протяженности не следует применять систему ИТ. Единичное повреждение изоляции однофазного проводника не вызывает срабатывания устройства защиты от сверхтока и питание потребителя не будет прервано. Если нагрузка не допускает внезапного отключения питания, первое повреждение должно быть обнаружено в возможно более короткое время. С этой целью часто используются различные устройства непрерывного контроля изоляции между фазными проводниками и землей, срабатывающие на сигнал, если сопротивление изоляции опускается ниже предельно допустимого уровня.

На рис. 4.19. представлена принципиальная схема непрерывного контроля изоляции при питании системы ИТ от трехфазного трансформатора.

Для предотвращения возникновения опасного напряжения прикосновения при первом повреждении изоляции, сопротивление растеканию заземляющего устройства электроустановки (т. е. сопротивление между защитным РЕ-проводником и землей) должно быть меньше предельно допустимого напряжения при повреждении изоляции, деленного на ток повреждения на землю, протекающий между токоведущими частями. Этот ток определяется непреднамеренными активными и емкостными утечками между двумя другими (неповрежденными) фазами и землей, регистрируемыми устройством контроля сопротивления изоляции. Как уже отмечалось, ток повреждения для системы ИТ зависит от размеров установки и может достигать нескольких ампер для крупных промышленных электроустановок. Напряжение прикосновения может быть снижено повсеместным применением электрооборудования класса I, связанного посредством РЕ-проводника с системой заземления электроустановки. Этот проводник выполняет функцию главной эквипотенциальной шины.

Системы непрерывного контроля изоляции необходимы для многих типов электроустановок, в которых перерыв питания при одиночном повреждении изоляции нежелателен или недопустим. Примером таких установок являются операционные и палаты интенсивной терапии в больницах; производства с непрерывными технологическими процессами, чувствительными к перерыву электроснабжения, такие как химические предприятия, шахты, корабли, установки управления и контроля.

В системах ИТ двойное замыкание отключается устройством защиты от сверхтока. В общем случае, устройства защитного отключения непригодны для этих систем, поскольку токи повреждения не отличаются от нагрузочных токов, и УЗО-Д не будут работать (см. рис. 4.20).

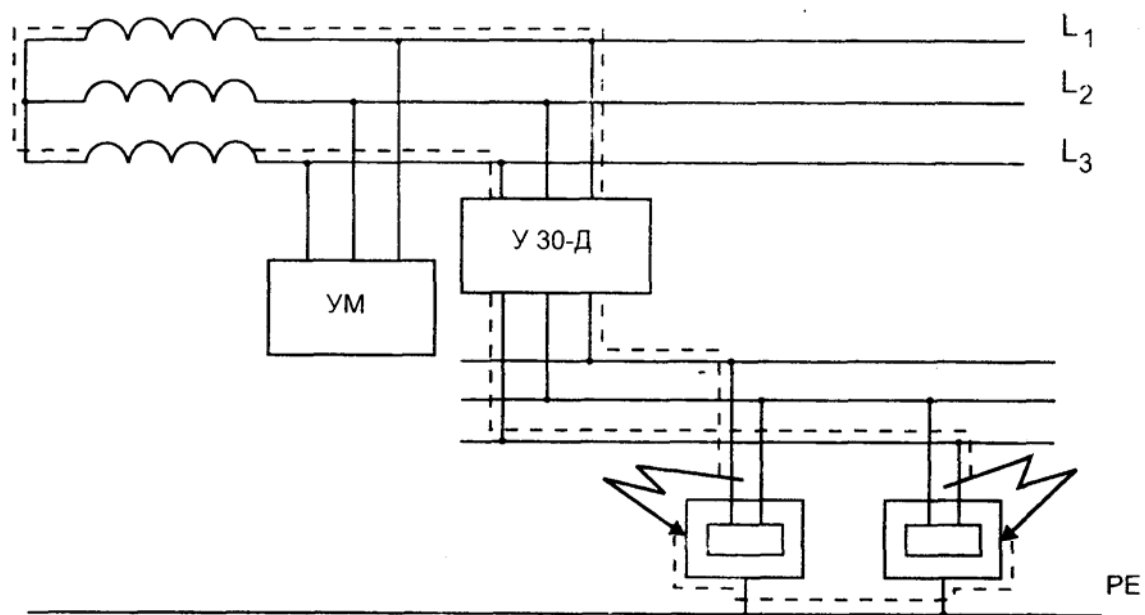


Рис. 4.20. УЗО-Д не защищает от двойного замыкания в системе IT

Использование УЗО-Д в системе IT

Существуют различные взгляды относительно эффективности применения УЗО-Д в системе IT. Для того, чтобы избежать нежелательных отключений, уставка УЗО-Д должна быть в два раза выше тока замыкания при единственном повреждении изоляции на линейной стороне УЗО-Д. Распределение тока повреждения в этом случае представлено на рис. 4.21. Часть тока утечки при единственном повреждении изоляции на линейной стороне УЗО-Д, которая может вызвать отключение УЗО-Д, является векторной суммой токов, называемой «разностным током» (см. рис. 4.21).

Для того, чтобы избежать нежелательных отключений, могущих быть вызванными грозовыми и коммутационными перенапряжениями, должны быть использованы УЗО-Д с выдержкой времени. Их уставка должна быть принята равной 300 мА для исключения нежелательных отключений при единственном повреждении фазной изоляции линии. Это означает, что для предельно допустимого напряжения при повреждении изоляции — 50 В наибольшее значение сопротивления растеканию заземляющего устройства должно быть

$$R = \frac{50 \text{ В}}{0,300 \text{ А}} = 167 \text{ Ом.}$$

Единственное повреждение изоляции между фазным проводником установки и землей, как правило, будет вызывать срабатывание УЗО-Д. В случае, когда ток единственного повреждения будет недостаточным для срабатывания УЗО-Д, опасность поражения будет меньше.

При двойном повреждении изоляции защита будет обеспечиваться устройством защиты от сверхтока. Для уменьшения потенциала ОПЧ и СПЧ при повреждении изоляции, все защитные проводники должны быть присоединены к главной шине уравнивания потенциалов (главной эквипотенциальной шине).

Защита от повреждения изоляции может быть обеспечена применением УЗО-Д в системе IT, например, в трехфазной системе напряжением 220 В, при условии выполнения следующих правил:

а) использование УЗО-Д с уставкой порядка 300 мА с выдержкой времени для защиты всей электроустановки;

б) все защитные проводники должны быть присоединены к главной уравнивающей шине (главной эквипотенциальной шине);

в) в пределах одной электроустановки не должны использоваться отдельные (автономные) заземляющие устройства, не связанные между собой.

Дополнительная защита может быть предусмотрена для защиты от прямого контакта с токоведущими частями. Однако, в системе IT практически невозможно обеспечить дополнительную защиту с помощью дополнительных УЗО-Д с током уставки 30 мА и менее.

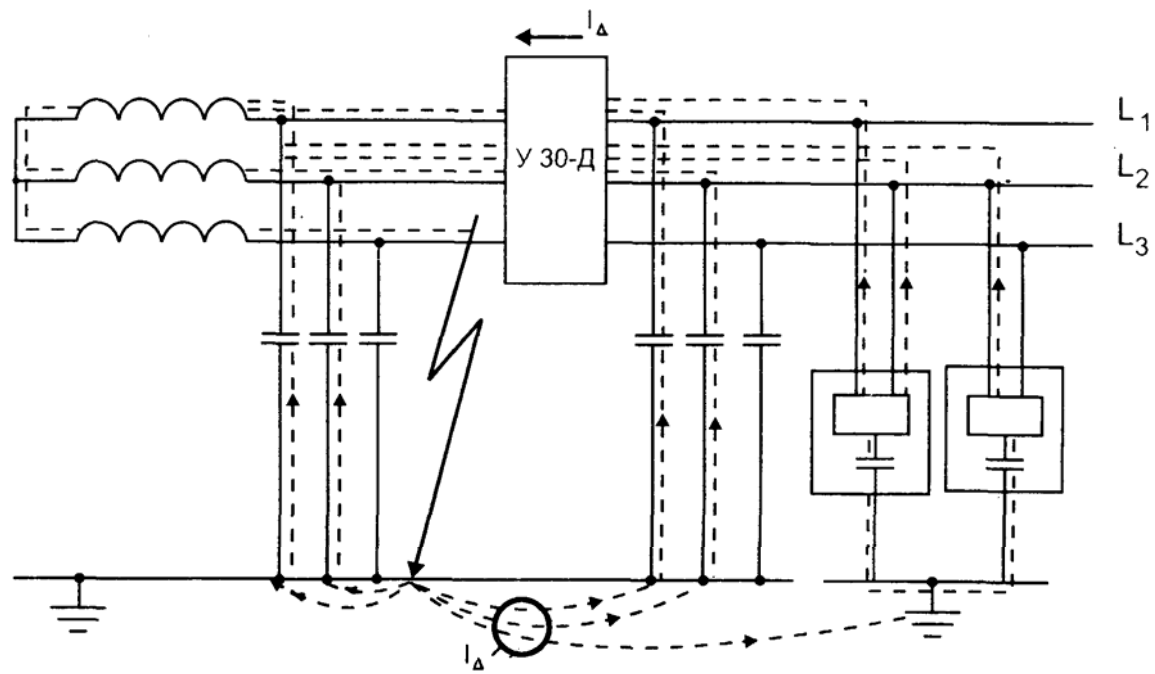


Рис. 4.21. Распределение тока замыкания в системе IT при повреждении изоляции питающей линии

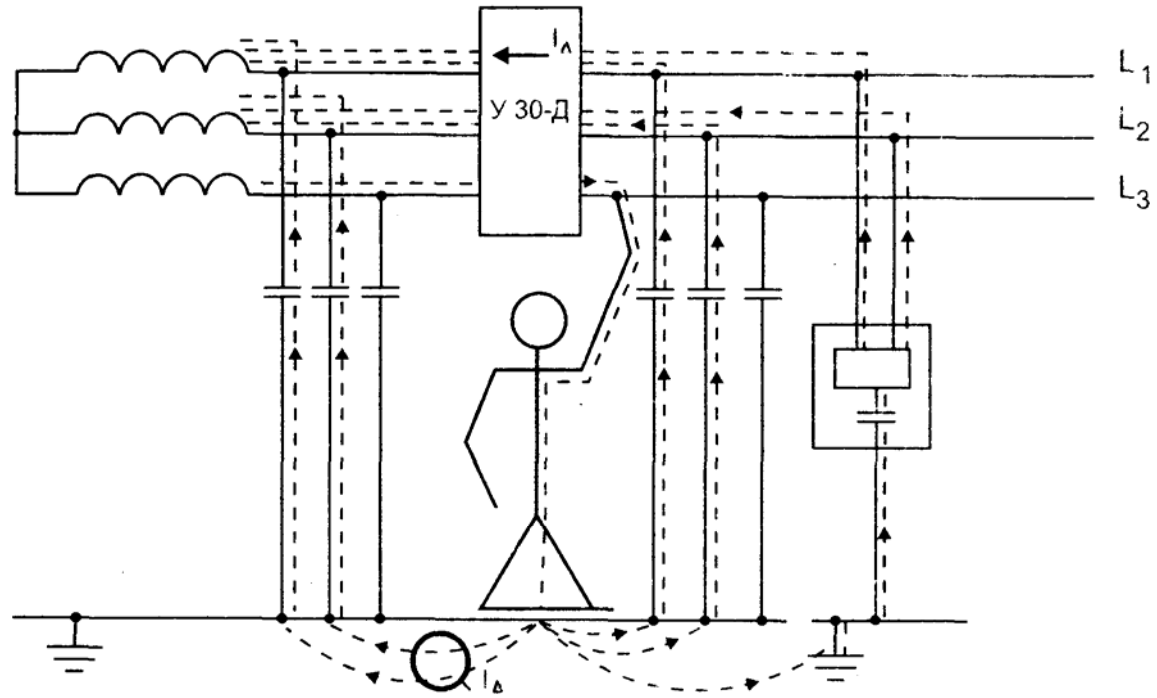


Рис. 4.22. Распределение тока замыкания в системе IT при прямом прикосновении

На рис. 4.22 показан путь тока, протекающего через человека, коснувшегося токоведущих частей. Как показано на этом рисунке, ток стекает в землю и далее распределяется по всей системе. Только часть тока, протекающего через человека, проявляется в качестве разностного тока, воздействующего на УЗО-Д — это та часть, которая возвращается к источнику через емкость проводников питающей линии. Другая часть тока, возвращающаяся к источнику через емкостную проводимость проводников со стороны нагрузки, не оказывает влияние на УЗО-Д. В системе IT ток через человека, касающегося токоведущих частей, всегда больше разностного тока, улавливаемого УЗО-Д, и потому защитно-отключающее устройство дифференциального типа может не сработать даже тогда, когда ток через тело человека смертельно опасен (рис. 4.22).

Защита от поражения электрическим током при прямом контакте становится эффективной, если проводимость между проводниками и землей с линейной стороны УЗО-Д будет значительно больше соответствующей проводимости со стороны нагрузки.

4.10.2. Нормативные рекомендации для электроустановок напряжением 1 кВ с изолированной нейтралью (система IT)

4.10.2.1. В сетях системы IT электроустановка должна быть изолирована от земли или связана с ней через достаточно большое сопротивление.

В случае первого замыкания на открытые проводящие части ток замыкания недостаточен для срабатывания защитного устройства. Во избежание вредных физиологических воздействий на человека при прикосновении к одновременно доступным проводящим частям должны быть приняты меры на случай возникновения замыкания второй фазы.

Открытые проводящие части должны быть заземлены отдельно, группами или все вместе.

Примечание — В больших зданиях, таких как высотные, заземление доступных прикосновению сторонних проводящих частей может быть достигнуто их соединением с защитными проводниками, открытыми проводящими частями и сторонними проводящими частями.

4.10.2.2. Сопротивление заземляющего устройства, используемого для заземления открытых проводящих частей электрооборудования — R , должно удовлетворять неравенству

$$R \leq \frac{50}{I_d}, \text{ но не более 4 Ом,}$$

где I_d — ток замыкания фазы на открытые проводящие части. Значение I_d включает в себя значения всех токов нулевой последовательности.

4.10.2.3. Если для обнаружения первого замыкания на открытые проводящие части или на землю предусмотрено устройство контроля изоляции, то это устройство должно подавать световой и/или звуковой сигнал. Рекомендуется устранять первое замыкание в кратчайший срок.

После появления первого замыкания условия отключения питания при втором замыкании зависят от того, как соединены открытые проводящие части с заземлителем.

а) При индивидуальном или групповом заземлении открытых проводящих частей требования по защите указаны ниже.

Все открытые проводящие части, защищенные одним защитным устройством, должны присоединяться защитным проводником к одному заземляющему устройству.

Должно выполняться следующее условие:

$$R_A I_a \leq 50 \text{ В},$$

где R_A — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника;

I_a — ток срабатывания защитного устройства.

Если защитное устройство является устройством защитного отключения и реагирует на дифференциальный ток, то под I_a подразумевается уставка защитного устройства по дифференциальному току $I_{\Delta n}$.

Если защитное устройство — устройство защиты от сверхтока, то оно должно быть:

— либо устройством с обратной зависимой токо-временной характеристикой и I_a — значение тока, обеспечивающее время срабатывания устройства не более 5 с;

— либо устройством с отсечкой тока и тогда I_a — уставка по току отсечки.

б) Когда связь с землей открытых проводящих частей осуществляется посредством соединения с защитным проводником для обеспечения защиты должно быть выполнено условие:

$$Z_S \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2 I_a},$$

где U_0 — значение фазного напряжения;

Z_S — полное сопротивление цепи замыкания;

I_a — ток срабатывания защитного устройства за время отключения t , указанное в табл. 4.10.2.1.

Таблица 4.10.2.1. Наибольшее время отключения для сетей систем ИТ (двойное замыкание)

Номинальное напряжение установки U_0 , В	Время отключения, с
120	0,8
230	0,4
400	0,2
600	0,1

В сетях системы ИТ могут применяться:

- устройства контроля изоляции;
- устройства защиты от сверхтоков;
- устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

Конструктивное исполнение заземляющих устройств

5.1. Заземляющие и нулевые защитные проводники (нормативные требования)

В качестве заземляющих или нулевых защитных проводников должны быть использованы в первую очередь нулевые рабочие проводники, а затем специально предусмотренные для этой цели проводники (стальная полоса, круглая сталь), а также естественные проводники (трубы, оболочки кабелей и т. д.).

Выбор вида заземляющих и нулевых защитных проводников при обеспечении равных условий безопасности обслуживания электроустановок и технологического оборудования следует производить по минимуму затрат с учетом требований эстетики, а также в соответствии с табл. 5.1—5.4.

По проводимости, термической стойкости и сопротивлению цепи фаза — нуль заземляющие и нулевые защитные проводники должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.3.