

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

9.1 Опасное действие электрического тока на организм человека

При эксплуатации и ремонте электрического оборудования и сетей человек может оказаться в сфере действия электрического поля или непосредственном соприкосновении с находящимися под напряжением проводками электрического тока. В результате прохождения тока через человека может произойти нарушение его жизнедеятельных функций. Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что, во первых, ток не имеет внешних признаков и, как правило, человек без специальных приборов не может заблаговременно обнаружить грозящую ему опасность; во вторых, воздействие тока на человека в большинстве случаев приводит к серьезным нарушениям наиболее важных жизнедеятельных систем, таких как центральная нервная, сердечно-сосудистая и дыхательная, что увеличивает тяжесть поражения; в третьих, переменный ток способен вызвать интенсивные судороги мышц, приводящие к неотпускающему эффекту, при котором человек самостоятельно не может освободиться от воздействия тока; в четвертых, воздействие тока вызывает у человека резкую реакцию отдергивания, а в ряде случаев и потерю сознания, что при работе на высоте может привести к травмированию в результате падения.

Электрический ток, проходя через тело человека, может оказывать биологическое, тепловое, механическое и химическое действие. Биологическое действие заключается в способности электрического тока раздражать и возбуждать живые ткани организма, тепловое – в способности вызывать ожоги тела, механическое – приводить к разрыву тканей, а химическое – к электролизу крови.

Воздействие электрического тока на организм человека может явиться причиной электротравмы – это травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги. Условно электротравмы делят на местные и общие. При местных электротравмах возникает местное повреждение организма,

выражающиеся в появлении электрических ожогов, электрических знаков, в металлизации кожи, механических повреждениях и электроофтальмии (воспаление наружных оболочек глаз).

Общие электротравмы, или электрические удары, приводят к поражению всего организма, выражающемуся в нарушении или полном прекращении деятельности наиболее жизненно важных органов и систем – легких (дыхания), сердца (кровообращения).

Характер воздействия электрического тока на человека и тяжесть поражения пострадавшего зависит от многих факторов. Оценивать опасность воздействия электрического тока на человека можно по ответным реакциям организма. С увеличением тока четко проявляются три качественно отличные ответные реакции. Это прежде всего ощущение, более судорожное сокращение мышц (неотпускание для переменного тока и болевой эффект постоянного) и, наконец, фибрилляция сердца. Электрические токи, вызывающие соответствующую ответную реакцию, подразделяют на: ощутимые, неотпускающие и фибрилляционные.

К факторам, влияющим на исход поражения электрическим током, относят величину тока, величину напряжения, время действия, род и частоту тока, путь замыкания, сопротивление человека, окружающую среду.

Величина тока. По величине токи подразделяются на неощущаемые (0,6–1,6 мА), ощущаемые (3 мА), отпускающие (6 мА), неотпускающие (10–15 мА), удушающие (25–50 мА), фибрилляционные (100–200 мА), тепловые воздействия (5 А и выше).

Величина напряжения и время действия (по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ «Предельно допустимые величины напряжений и токов. Электробезопасность»). Факторы величины напряжения и время воздействия электрического тока приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Допустимые величины напряжений и токов

Время действия, с	Длительно	До 30	1	0,5	0,2	0,1
Величина тока, мА	1	6	50	100	250	500
Величина напряжения, В	6	36	50	100	250	500

При кратковременном воздействии (0,1–0,5 с) ток порядка 100 мА не вызывает фибрилляции сердца. Если увеличить длительность

воздействия до 1 с, то этот же ток может привести к смертельному исходу. С уменьшением длительности воздействия значение допустимых для человека токов существенно увеличивается. При изменении времени воздействия от 1 до 0,1 с допустимый ток возрастает в 10 раз.

Род и частота тока. Постоянный и переменный токи оказывают различные воздействия на организм, главным образом, при напряжениях до 500 В. При таких напряжениях степень поражения постоянным током меньше, чем переменным той же величины. Считают, что напряжение 120 В постоянного тока при одинаковых условиях эквивалентно по опасности напряжению 40 В переменного тока промышленной частоты. При напряжении 500 В и выше различий в воздействии постоянного и переменного токов практически не наблюдаются. Исследования показали, что самыми неблагоприятными для человека являются токи промышленной частоты (50 Гц). При увеличении частоты (более 50 Гц) значения неотпускающего тока возрастает. С уменьшением частоты (от 50 Гц до 0) значения неотпускающего тока тоже возрастает и при частоте, равной нулю (постоянный ток – болевой эффект), они становятся больше примерно в три раза. Значения фибрилляционного тока при частотах 50–100 Гц равны, с повышением частоты до 200 Гц этот ток возрастает примерно в 2 раза, а при частоте 400 Гц – почти в 3,5 раза.

Путь замыкания тока. При прикосновении человека к токоведущим частям путь тока может быть различным. Всего существует 18 вариантов путей замыкания тока через человека. Основные из них: голова – ноги; рука – рука; правая рука – ноги; левая рука – ноги; нога – нога.

Степень поражения в этих случаях зависит от того, какие органы человека подвергаются воздействию тока, и от величины тока, проходящего непосредственно через сердце.

Сопротивление человека. Величина тока, проходящего через какой-либо участок тела человека, зависит от приложенного напряжения (напряжения прикосновения) и электрического сопротивления, оказываемого току данным участком тела. Между воздействующим током и напряжением существует нелинейная зависимость: с увеличением напряжения ток растет быстрее. Это объясняется, главным образом, нелинейностью электрического сопротивления тела человека. На участке между двумя электродами электрическое сопротивление тела человека в основном состоит из сопротивлений двух тонких наружных слоев кожи, касающихся электродов, и

внутреннего сопротивления остальной части тела. Плохо проводящий ток наружный слой кожи, прилегающий к электроду, и внутренняя ткань, находящаяся под плохо проводящим слоем, как бы образуют обкладки конденсатора. С увеличением частоты тока сопротивление тела человека уменьшается и при больших частотах становится равным внутреннему сопротивлению.

При напряжении на электродах 40–45 В в наружном слое кожи возникают значительные напряженности поля, которые полностью или частично нарушают полупроводящие свойства этого слоя. При увеличении напряжения сопротивление тела уменьшается и при напряжении 100–200 В падает до значения внутреннего сопротивления тела. Это сопротивление для практических расчетов может быть принято равным 1000 Ом.

Окружающая среда. Влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящая пыль и другие факторы окружающей среды оказывают дополнительное влияние на условие электробезопасности. Во влажных помещениях с высокой температурой или наружных электроустановках складываются неблагоприятные условия, при которых обеспечивается наилучший контакт с токоведущими частями. Наличие заземленных металлических конструкций и полов создает повышенную опасность поражения вследствие того, что человек практически постоянно связан с одним полюсом (землей) электроустановки. Токопроводящая пыль также улучшает условия для электрического контакта человека как с токоведущими частями, так и с землей.

9.2 Защитное заземление и зануление

При эксплуатации электроустановки возможно нарушение изоляции токоведущих частей, в результате которого корпус, а также другие металлические части оказываются под напряжением. Для защиты человека от поражения электрическим током эти предметы заземляют или зануляют.

Заземление – преднамеренное соединение предмета с землей с помощью заземляющего проводника и заземлителя, естественного или искусственного. Защитный эффект заземления состоит в шунтировании тела человека малым сопротивлением.

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Естественные заземлители. В первую очередь, для заземления электроустановок используются естественные заземлители. Если эти заземлители имеют сопротивление, удовлетворяющее требованию ПУЭ, то искусственные заземлители не применяют.

В качестве естественных заземлителей используют:

- железобетонные фундаменты зданий и сооружений;
- проложенные под землей водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением: трубопроводов для горючих жидкостей и газов, чугунных трубопроводов, а также временных трубопроводов строительных площадок;

- обсадные трубы и другие металлические конструкции, имеющие соединение с землей;

- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Алюминиевые оболочки кабелей и неизолированные алюминиевые провода использовать в качестве заземлителей запрещается.

Искусственные заземлители должны применяться лишь в случае, если естественные заземлители не удовлетворяют требованиям ПУЭ по значениям сопротивления заземляющего устройства и по напряжению прикосновения. По форме и расположению в грунте искусственные заземлители подразделяют на г р у п п ы:

- *углубленные* – изготавливают из круглой или полосовой стали, укладывают горизонтально на дно котлованов по периметру фундаментов зданий и сооружений;

- *вертикальные* – стержни, изготовленные из круглой стали, либо отрезки угловой стали вертикально ввинчивают, вдавливают или забивают в грунт;

- *горизонтальные* – стержни круглого сечения или стальные полосы укладывают горизонтально в траншею.

В практике часто применяют комбинированные заземлители, состоящие из вертикальных стержней и соединяющих их горизонтальных полос (рисунки 69).



Обычно для заземлителей применяют круглую сталь диаметром 10–16 мм, полосовую сталь сечением 40 х 4 мм и угловую сталь 50 х 50 х 5 мм. Применять трубы не рекомендуется из-за их дороговизны.

Длина вертикальных заземлителей ввинчиваемых – 4,5–5 м, забиваемых заземлителя

Рисунок 69 – Установка заземлителя

заземлители в плане располагают в соответствии с проектом. При уменьшении расстояния между ними суммарное сопротивление заземляющего устройства увеличивается из-за взаимного экранирования.

Каждая заземляемая или зануляемая часть электроустановки присоединяется к сети заземления (зануления) при помощи отдельного ответвления. Площадь сечения заземляющего или зануляющего провода регламентируется в зависимости от их материала (сталь, медь, алюминий) и места прокладки (в земле, помещении, в составе питающего кабеля). При заземлении нескольких электроустановок используют магистральную стальную шину, один конец которой соединен с заземлителем. Магистраль прокладывается в непосредственной близости от заземляемого электрооборудования (обычно прибивается по низу стены дюбелями) и имеет короткие ответвления с отверстиями для болтов. Каждый заземляющий проводник должен подключаться к отдельному болту, недопустимо подключение нескольких проводников под один болт.

Если корпус электрооборудования не заземлен и оказался в контакте с фазой, то прикосновение к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае ток, проходящий через человека (при малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли), может достигать опасных значений.

Если же корпус заземлен, то величина тока, проходящего через человека, безопасна для него. В этом назначение заземления, и поэтому оно называется защитным.

Стационарные искусственные защитные заземления состоят из следующих элементов: заземляющих проводников; соединительных контуров; заземлителей – электродов, которые вбивают в землю на глубину от 3 до 10 метров.

При этом верхний конец электрода должен быть на глубине 0,7 метра от поверхности земли. Между собой электроды соединяются при помощи стальной полосы или круглой стали. Немаловажную роль при этом играет состав и влажность почвы, в

которую погружается заземлитель. С изменением влажности любой почвы будет меняться и её сопротивление, и, как следствие, изменится ток растекания. Соединение полос или круглой стали с электродами выполняют только сваркой. Искусственные заземлители не должны окрашиваться. Конструктивно искусственные заземляющие устройства бывают горизонтального и вертикального исполнения.

Сопротивление заземляющих устройств в электроустановках до 1 кВ с изолированной нейтралью должно быть не больше 4 Ом, а в электроустановках 220, 380 и 660 В с глухозаземлённой нейтралью – не больше соответственно 8, 4 и 2 Ом.

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Решается эта задача быстрым отключением поврежденной электроустановки от сети.

При занулении, если оно надежно выполнено, всякое замыкание на корпус превращается в однофазное короткое замыкание (т.е. замыкание между фазами и нулевым проводом). При этом возникает ток такой силы, при которой обеспечивается срабатывание защиты (предохранителя или автомата) и автоматическое отключение поврежденной установки от сети.

Вместе с тем зануление (как и заземление) не защищает человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к токоведущим частям. Поэтому возникает необходимость (в помещениях, особо опасных в отношении поражения электрическим током) в использовании, помимо зануления, и других защитных мер, в частности, защитного отключения и выравнивания потенциала (<http://ohranatruda.of.by/zazemlenie-i-zanulenie-elektroustanovok.-ix-zashitnoe-deiestvie.html>) (<http://www.electrika.by/component/content/article/47/110>)

В Беларуси требования к заземлению и его устройству регламентируются ТКП 181–2009 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей».

Проводники защитного заземления во всех электроустановках, а также нулевые защитные проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в том числе шины, должны иметь буквенное обозначение РЕ и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными

полосами одинаковой ширины (для шин от 15 до 100 мм) желтого и зеленого цветов. Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой N и голубым цветом. Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение PEN и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и желто-зеленые полосы на концах (рисунок 70).



Рисунок 70 – Отличие защитного заземления и защитного "нуля"

9.3 Системы заземления

В настоящее время в нашей стране активно ведется работа по повышению уровня электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий путём перехода от старой системы заземления *TN-C* к новой – *TN-S* в соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии – МЭК.

Условные обозначения систем расшифровываются следующим образом:

- первая буква – состояние нейтрали источника относительно земли, *T* – заземленная нейтраль; Если нейтраль источника изолирована от земли, то ставится буква *I*;

- вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли, *N* – открытые проводящие части присоединены к глухо заземлённой нейтрали источника питания. Если открытые проводящие части заземлены, то ставится буква *T*.

Последующие (после буквы *N*) буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

- S* – нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводники разделены;

- C* – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

C-S – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

Старая система *TN-C* – четырехпроводная система, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике *PEN* на всем её протяжении (рисунок 71).

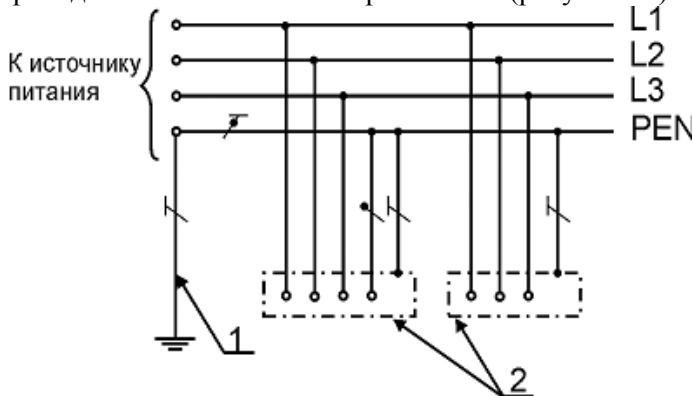


Рисунок 71 – Система *TN-C* переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике *PEN*.

Новая система *TN-S* – пятипроводная система, в которой нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники разделены на всем ее протяжении (рисунок 72).

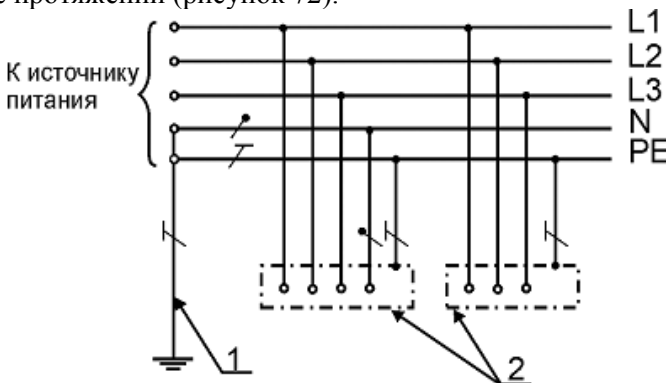


Рисунок 72 – Система *TN-S* переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники разделены.

Промежуточная система $TN-C-S$ – система TN , в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рисунок 73).

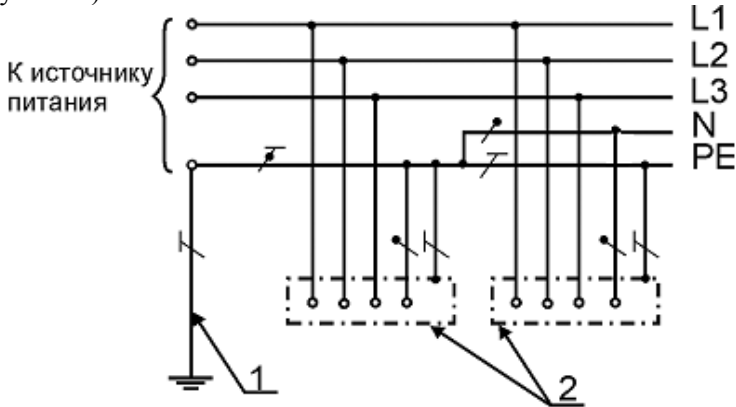


Рисунок 73 – Система $TN-C-S$ переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы. От источника до потребителя идёт четырёхпроводная линия. У потребителя делается повторное заземление и от вводного щитка потребителя идёт пятипроводная разводка.

Приняты следующие графические обозначения проводников:

N – — нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

PE – — защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

PEN – — совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

При монтаже электроустановок правила предписывают применять для защитного проводника (PE) провод в желто-зеленой полосатой изоляции.

Наиболее перспективной для нашей страны является система $TN-C-S$, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО

обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

В системе *TN-C-S* во вводно-распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник *PEN* разделен на нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники.

Нулевой защитный проводник *PE* соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, в то время как нулевой рабочий проводник *N* не должен иметь соединения с землей.

Внесены изменения в Правила устройства электроустановок (ПУЭ), в гл. 7.1 «Электрооборудование жилых и общественных зданий». В 7-м издании ПУЭ требования к выполнению групповых сетей сформулированы следующим образом:

– п. 7.1.13. Питание электроприемников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления *TN-S* или *TN-C-S*;

– в п. 7.1.33 введён дополнительный абзац:

«В жилых и общественных зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых щитков до штепсельных розеток, должны выполняться трехпроводными (фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники). Питание стационарных однофазных электроприемников следует выполнять трехпроводными линиями. При этом нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не следует подключать на щитке под один контактный зажим»;

– п. 7.1.36. Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (фазный – *L*, нулевой рабочий – *N* и нулевой защитный – *PE*-проводники).

Не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий.

Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать под общий контактный зажим.

9.4 Устройства защитного отключения

Для защиты от поражения человека электрическим током при нарушении изоляции используется система защитного отключения,

которая основана на контроле токов утечки.

Для контроля токов утечки применяют специальный датчик (трансформатор тока), который устанавливают: в однофазной цепи – на оба провода, идущих к потребителю; в трехфазной – на все три либо четыре провода (в зависимости от схемы подключения). Таким образом, датчик тока фиксирует сумму всех токов, протекающих через потребитель, а в соответствии с первым правилом Кирхгофа эта сумма должна быть равна нулю. Если у потребителя есть утечка тока через изоляцию любого из фазных проводов на корпус, а следовательно, и на землю, на выходе датчика появляется сигнал, который вызывает защитное отключение потребителя. Такие устройства сокращённо называют УЗО.

Функционально УЗО можно определить как **быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.**

Основные функциональные блоки устройства защитного отключения представлены на рисунке 74. Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1. Пусковой орган (пороговый элемент) 2 выполняется, как правило, на чувствительных поляризованных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах. Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

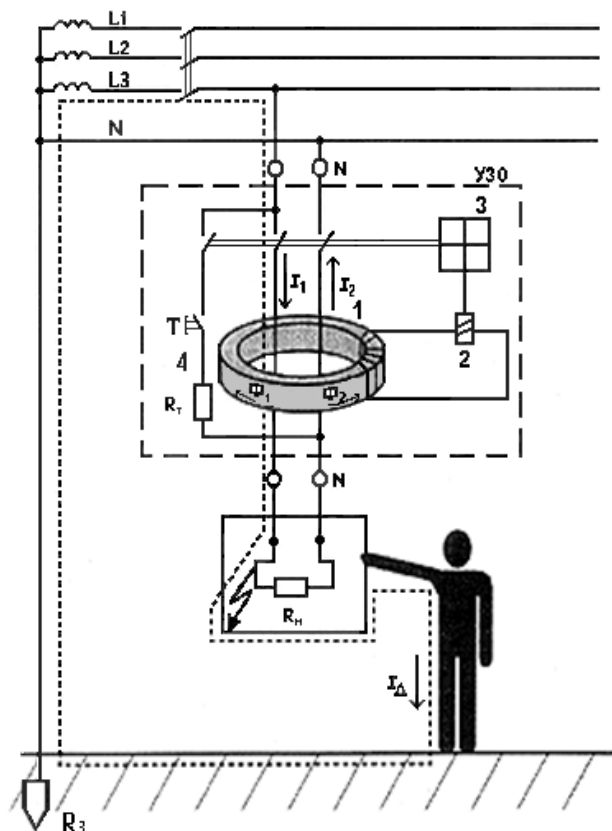


Рисунок 74 – Принцип действия УЗО

В нормальном режиме при отсутствии дифференциального тока – тока утечки через нарушенную изоляцию – в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока 1, протекает рабочий ток нагрузки. Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке как I_1 , а от нагрузки – как I_2 , то можно записать равенство $I_1 = I_2$. Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии

покою.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприёмника, на котором произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток – ток утечки (I_{Δ}), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 = I_2 + I_{\Delta}$) вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение установленного порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается. Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4.

При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

Различают три типа УЗО:

АС – реагирующие на переменный дифференциальный ток;

А – реагирующие на переменный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи;

В – реагирующие на переменный, пульсирующий постоянный и сглаженный постоянный дифференциальные токи.

Чувствительность УЗО общего применения – 30 мА. В помещениях с повышенной температурой и влажностью (бани, бассейны, ваннные комнаты и т. п.) применяют УЗО с чувствительностью 10 мА.

о