

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, УПРАВЛЯЕМЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ТОКОМ

Рассматривается конструкция и принцип действия устройств защитного отключения (УЗО). Приводится описание и технические параметры основных компонентов электрических аппаратов, управляемых дифференциальным током.

Ключевые слова: электрическая энергия, устройство защитного отключения, механический коммутационный аппарат, блок управления, дифференциальный трансформатор тока.

Пользование электроэнергией сопряжено с опасностью поражения человека электрическим током и опасностью возникновения пожара.

Тело человека является токопроводящей средой. Ток, проходящий через тело человека, зависит от «напряжения прикосновения» и электрического сопротивления тела, которое, в свою очередь, зависит от ряда факторов, в частности, от влажности окружающего воздуха. На рис. 1 приведены соответствующие графики из международного стандарта МЭК 479–94 «Действие электрического тока, протекающего по телу человека» [1, С. 244–252].

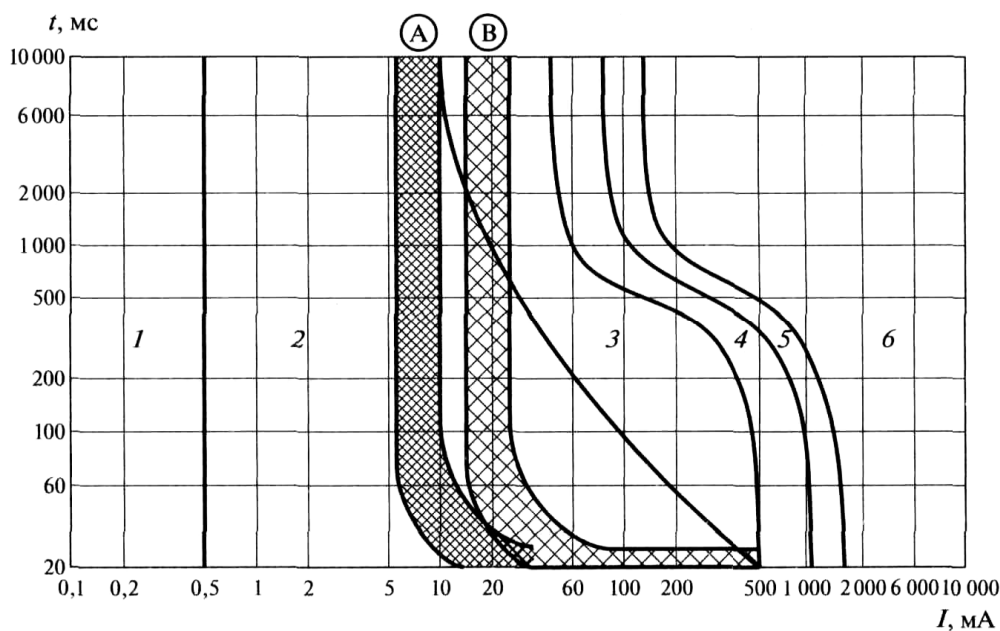


Рис. 1. График областей физического действия на человека переменного тока (50–60 Hz) по МЭК 479–94:

1 — неощутимые токи; 2 — осязаемые, но не вызывающие физиологических изменений; 3 — осязаемые, но не вызывающие опасность фибрилляции сердца; 4 — осязаемые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность менее 5 %); 5 — осязаемые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность менее 50 %); 6 — осязаемые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность более 50 %)

Времятоковые характеристики УЗО: А ($I_{\Delta n} = 10 \text{ мА}$) и В ($I_{\Delta n} = 30 \text{ мА}$).

Соблюдение существующих «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) и «Правил техники безопасности» (ПТБ) сводит к минимуму вероятность электротравматизма на производстве и в других сферах жизнедеятельности. В жилых и общественных зданиях бытовые машины и электроприборы, средства оргтехники, электроинструмент эксплуатируют лица, в основном, без специальной подготовки. Их риск попасть под опасное напряжение существенно выше. Возникающие при этом токи (в силу их малости на фоне токов нормальных режимов) не обнаруживаются аппаратами защиты от сверхтоков.

Поэтому необходимы специальные устройства, обесточивающие электроустановку в случае прикосновения человека к токопроводящей части, нормально находящейся под напряжением («прямое прикосновение») или оказавшейся под напряжением вследствие повреждения изоляции («косвенное прикосновение»). Такие устройства, применяемые в электроустановках 0,4 кВ как дополнительное средство защиты, получили название «устройства защитного отключения» (УЗО).

Главным параметром УЗО, определяющим его функциональное назначение, является *номинальный отключающий дифференциальный ток* (установка тока срабатывания УЗО) — $I_{\Delta n}$. Серийно выпускаемые УЗО имеют в основном следующие значения $I_{\Delta n}$: 10 и 30 мА — для защиты человека и 100 и 300 мА — противопожарное назначение.

Обнаружить ток через тело человека можно с помощью «дифференциального метода». На рис. 2 показано распределение токов в случае «прямого прикосновения» в однофазной двухпроводной сети с заземлённой нейтралью. Поскольку человек оказывается под фазным напряжением прикосновения, он условно изображён в виде сопротивления $R_{\text{д}}$, подсоединённого между фазным проводом L и землёй. По фазному проводу L протекает суммарный ток, состоящий из тока нагрузки $I_{\text{н}}$ и тока через тело человека $I_{\text{д}}$. По нулевому проводнику N протекает ток нагрузки $I_{\text{н}}$. Таким образом, ток, протекающий через тело человека, можно рассматривать как разность токов фазного и нулевого проводников. Этот ток называют «дифференциальным током».

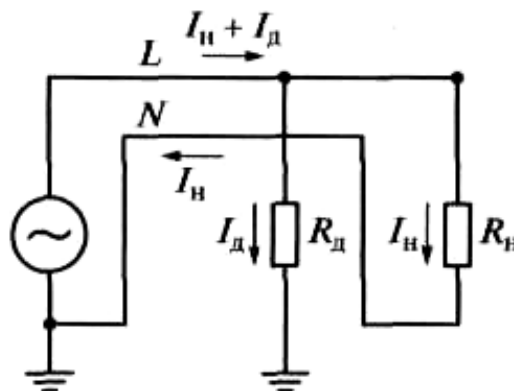


Рис. 2. Картина токов при прямом прикосновении:
 L — фазный провод; N — рабочий нулевой провод;
 R_n — сопротивление нагрузки; R_d — сопротивление тела человека;
 I_n — ток нагрузки; I_d — ток через тело человека

Поскольку аппараты защиты от сверхтоков не реагируют на повреждение изоляции до развития тока короткого замыкания, УЗО также обеспечивают высокий уровень защиты от возгорания имущества. Возникающий при повреждении изоляции относительно небольшой ток замыкания на землю может вызвать локальный перегрев в месте повреждения с последующим возгоранием. Этот ток также является дифференциальным, и УЗО обесточит электроустановку при неисправности электропроводки.

Современные автоматические выключатели, оснащённые максимальными расцепителями тока, с целью повышения чувствительности защиты к однофазным замыканиям также дополняются внешними или встроенными блоками, управляемыми дифференциальным током.

В электроустановках 0,4 кВ в России обычно вторичные обмотки понижающего трансформатора, питающего электрические сети (потребителей), включены в звезду с глухозаземлённой нейтралью. До настоящего времени у нас распространено «зануление» металлических корпусов электрооборудования. Для этих целей используется объединённый нулевой защитный и рабочий проводник, соединённый с глухозаземлённой нейтралью трансформатора.

Лучшими показателями по электробезопасности обладает система, для которой необходима однофазная трёхпроводная или трёхфазная пятипроводная сеть и отдельные нулевой защитный и нулевой рабочий проводники. Такая система применяется в странах Западной Европы и начинает внедряться в России.

УЗО содержит исполнительный орган — механический коммутационный аппарат и блок управления (электромеханический или электронный). Большинство современных УЗО в качестве исполнительного органа используют аппарат со свободным расцеплением. При этом они могут иметь модульную конструкцию, когда блок управления пристраивается к выключателю, либо моноблочную — с расположением блока управления внутри выключателя. Такие УЗО получили название «выключатели автоматические управляемые дифференциальным током». Они бывают со встроенной защитой от сверхтоков и имеют соответствующий набор максимальных расцепителей тока или производятся без защиты от сверхтоков [2, С. 109–113].

На рис. 3 показан пример электроустановки с применением УЗО и схематично представлен аппарат без защиты от сверхтоков с механизмом свободного расцепления 3. В некоторых специальных УЗО, например, предназначенных для встраивания в штепсельные вилки или розетки, применяют силовое реле или контактор в качестве исполнительного органа. Блок управления содержит дифференциальный трансформатор тока 1, предназначенный для обнаружения дифференциального тока, и пусковой орган 2, подающий команду на отключение, если величина обнаруженного тока превышает заранее установленное значение. В электромеханическом блоке управления в качестве пускового органа используется магнитоэлектрический расцепитель. В электронном блоке управления пусковой орган воздействует на независимый или нулевой расцепитель выключателя, а сам блок нуждается во вспомогательном источнике питания. Для этого, как правило, используется сама защищаемая сеть. Блок управления также имеет цепь тестирования 4, предназначенную для периодической про-

верки исправности УЗО. При нажатии кнопки «Т» искусственно создаётся отключающий дифференциальный ток.

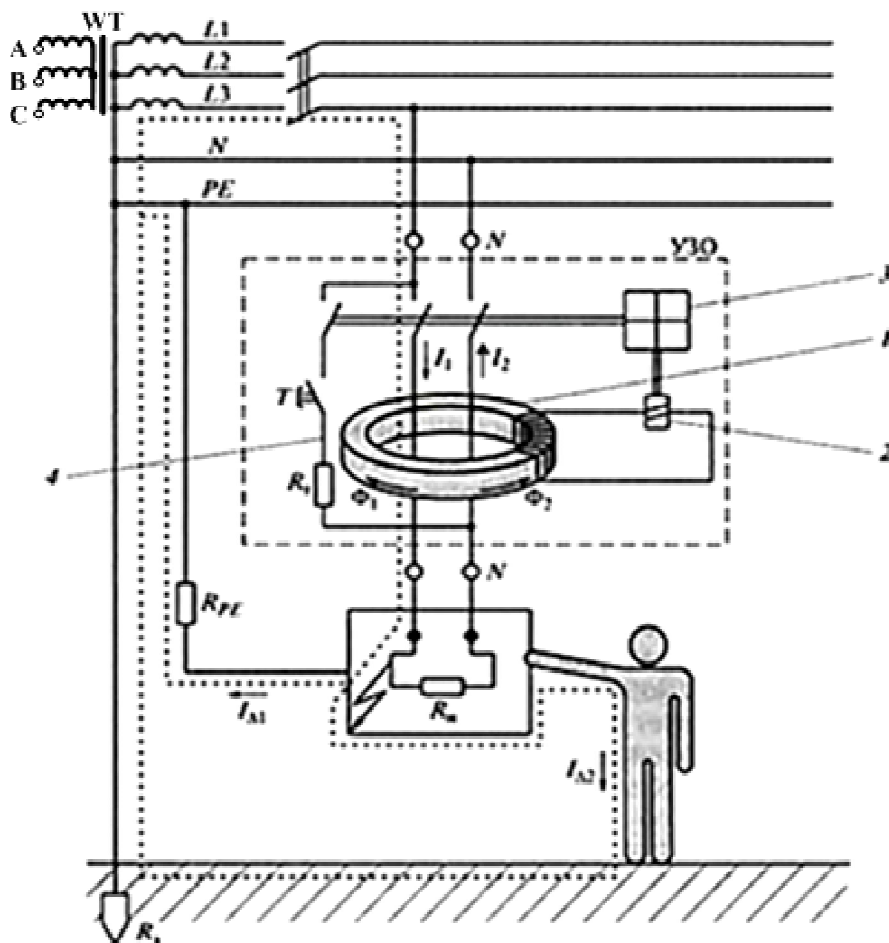


Рис. 3. Пример электроустановки с применением УЗО:

- 1 — дифференциальный трансформатор тока; 2 — пусковой орган;
3 — механизм свободного расцепления; 4 — цепь тестирования

На рис. 3 изображён трансформатор WT и трёхфазная пятипроводная питающая сеть ($L1, L2, L3, N, PE$) с системой заземления и показано, как в случае пробоя изоляции однофазного электроприбора на токопроводящий корпус и «косвенном прикосновении» к корпусу через тело человека возникает путь тока $I_{\Delta 2}$ от фазного провода на землю. Если бы корпус находился на изолированном от земли основании и не был заземлён с помощью нулевого защитного проводника R_{PE} , то человек попал бы под опасное (фазное) напряжение. Аналогичная ситуация возникает при случайном «прямом прикосновении» человека к фазному проводу. Величина тока $I_{\Delta 2}$ зависит от электрического сопротивления тела человека и напряжения прикосновения.

Нулевой защитный проводник создаёт путь для тока $I_{\Delta 1}$ и выполняет две функции. Во-первых, напряжение прикосновения (падение напряжения на сопротивлении R_{PE}) может быть снижено до безопасного уровня. Во-вторых, величина этого тока может быть выбрана достаточной для срабатывания обычных устройств защиты от сверхтоков мгновенного действия, например, автомати-

ческих выключателей с электромагнитным расцепителем. В этом и заключается смысл заземления открытых токоведущих частей для цели электробезопасности. Введение отдельного нулевого защитного проводника только повышает надёжность заземления. При этом УЗО является дополнительным средством защиты. Важно отметить, что УЗО обесточит электроустановку и при обрыве нулевого защитного проводника, если ток замыкания на землю, возникающий при повреждении изоляции, или ток через тело человека превысит ток срабатывания УЗО.

В основе принципа действия УЗО лежит дифференциальный метод. В нормальном режиме (см. рис. 3) векторная сумма токов в фазном (I_1) и нулевом рабочем (I_2) проводниках теоретически равна нулю. Практически она отличается от нуля и может достигать значений нескольких миллиампер из-за токов утечки, которые протекают в землю в электрически неповреждённой сети вследствие конечных значений сопротивления изоляции. В случае прямого или косвенного прикосновения к токопроводящей части ток, протекающий через тело человека, возвращается к источнику, минуя нулевой рабочий проводник. Таким образом, появляется некоторая векторная сумма токов, обнаруживаемая дифференциальным трансформатором тока I . В случае превышения обнаруженным дифференциальным током заданного значения пусковой орган 2 воздействует на механизм свободного расцепления 3, что приводит к «мгновенному» размыканию контактов УЗО и в итоге к обесточиванию электроустановки.

Для получения сигнала, пропорционального векторной сумме токов, используется дифференциальный трансформатор тока (рис. 4). Для однофазных устройств он имеет две первичные обмотки, включённые последовательно соответственно в цепь фазного и нулевого проводников, и вторичную обмотку. В частности, на рис. 4 первичные обмотки имеют по одному витку, т. е. фазный (L) и нулевой рабочий (N) проводники проходят сквозь окно в магнитопроводе. В трехфазных УЗО трансформатор имеет соответственно четыре первичных обмотки. Для уменьшения потоков рассеяния проводники необходимо располагать как можно ближе к центру.

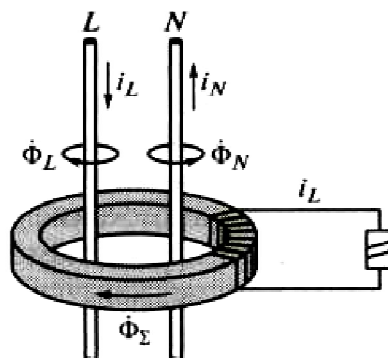


Рис. 4. Дифференциальный трансформатор тока

Тороидальный магнитопровод выполняется из ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью (например, из аморфного железа), с линейной характеристикой намагничивания. Вторичная обмотка подключается к входу пускового органа.

В нормальном режиме по первичным обмоткам протекает ток нагрузки. Результирующий магнитный поток Φ_{Σ} в магнитопроводе, создаваемый одинаковыми по величине и противоположно направленными токами первичных обмоток i_L , i_N , равен нулю и, соответственно, на выводах вторичной обмотки напряжение отсутствует.

При возникновении тока через тело человека или тока замыкания на землю вследствие повреждения изоляции по фазному проводнику L , кроме тока нагрузки, протекает дополнительно дифференциальный ток. Этот ток возвращается к источнику, минуя нулевой рабочий проводник. Результирующий ток и, следовательно, магнитный поток, уже не равны нулю. Переменный во времени магнитный поток создаёт на выводах вторичной обмотки напряжение, которое пропорционально дифференциальному току. Если значение дифференциального тока выше заранее установленного уровня, то в конечном итоге произойдёт отключение повреждённого участка электроустановки.

Заключение

Применение в электрических и электронных аппаратах встроенных блоков дифференциальной защиты от возникновения непредусмотренных электрической схемой путей протекания токов, так называемых устройств защитного отключения (УЗО), позволяет решить следующие технические задачи:

1. Защитить обслуживающий персонал и пользователей от поражения электрическим током в случае соприкосновения с токоведущими частями электротехнического оборудования и технологических установок.

2. Предотвратить возгорание и повреждение электрооборудования в случае механического повреждения изоляции или существенного уменьшения сопротивления изоляции при воздействии на неё факторов окружающей среды.

3. Осуществлять оперативный контроль работоспособности блоков дифференциальной защиты без отключения силового оборудования.

4. Организовать подключение УЗО к ЭВМ для обработки результатов измерений и их протоколирования, с последующим сохранением информации в базу данных.

Литература

1. Электрические и электронные аппараты. В 2 т. Т 1. Электромеханические аппараты: учебник для студентов высших учебных заведений. Под ред. А. Г. Годжелло, Ю. К. Розанова. М.: Изд-й центр «Академия», 2010. 352 с.
2. Марков А. М. Электрические и электронные аппараты: учебное пособие. Ч. I. Электромеханические аппараты / А. М. Марков. Псков: Изд-во ПсковГУ, 2013. 128 с.

Об авторе

Марков Александр Михайлович — доцент кафедры «Электропривод и системы автоматизации» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, доцент.

PARTICULARITIES ELECTRIC DEVICE, OPERATED BY DIFFERENTIAL CURRENT

It is considered design and principle of the action device defensive unhooking (TIE). Happens to the description and technical parameters main component electric device, operated by differential current.

Keywords: electric energy, device of the defensive unhooking, mechanical device, controller, differential transformer of the current.