

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Т.Ф.ГОРБАЧЕВА»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

Составители

**Т. Ф. Малахова
С. Г. Захаренко**

ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

**Методические указания к практическому занятию
для студентов всех форм обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления
13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2015

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С. А. Захаров – заведующий кафедрой электроснабжения горных и промышленных предприятий

И. Ю. Семькина – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»

Г. Е. Медведев – доцент кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий

Малахова Татьяна Федоровна, Захаренко Сергей Геннадьевич. Защитное отключение: методические указания к практическому занятию по дисциплине «Электробезопасность» [Электронный ресурс] для студентов направления 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение», всех форм обучения / сост.: Т. Ф. Малахова, С. Г. Захаренко. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Составлены в соответствии с программой дисциплины «Электробезопасность» и предназначены для проведения практических занятий и самостоятельной подготовки студентов по изучению требований и рекомендаций по применению защитных устройств, основных нормируемых параметров и приведены примеры решения задач.

© КузГТУ, 2015

© Малахова Т. Ф.,

Захаренко С. Г.,

составление, 2015

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В соответствии с программой целью дисциплины «Электробезопасность» является изучение мероприятий по повышению надежности, безопасности, рационального и безаварийного использования электрооборудования.

Цель практического занятия: Изучить основные требования к защитному отключению с целью обеспечения электробезопасности.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема «Защитное отключение» изучается бакалаврами на практических занятиях.

Практические занятия проводятся в интерактивной форме и заключаются в дискуссии между преподавателем и студентами. Защита тем, рассмотренных на практических занятиях, происходит по окончании их изучения в виде собеседования. При опросе преподаватель вправе задать любой вопрос, касающийся материала практического занятия.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Определение, классификация, область применения, требования и рекомендации по применению защитных устройств

Защитным отключением в электроустановках (ЭУ) до 1 кВ называется автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети, обеспечивающее безопасное для человека сочетание тока и времени его прохождения при замыкании на корпус или снижения уровня изоляции ниже определенного значения.

Защитное отключение рекомендуется применять в качестве основной или дополнительной меры защиты, если электробезопасность не может быть обеспечена путем устройства заземления или зануления, либо если устройства заземления или зануления вызывает трудности по условиям выполнения или по экономическим соображениям. Защитное отключение должно осу-

ществляться устройствами (аппаратами), удовлетворяющими в отношении надежности действия специальным техническим условиям, например, ГОСТу Р50 807-95 (МЭК 755-83) «Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытания».

Защитное отключение – автоматическое отключение электроустановок при однофазном (однополюсном) прикосновении к частям, находящимся под напряжением, недопустимым для человека, и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки (замыкания), превышающего заданные значения. Таким образом, вид защиты от поражения током в электроустановках обеспечивает автоматическое отключение всех фаз аварийного участка сети. Длительность отключения поврежденного участка сети должна быть не более 0,2 с.

Назначение защитного отключения – обеспечение электробезопасности, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (УЗО), которое, работая в дежурном режиме, постоянно контролирует условия поражения человека электрическим током.

УЗО применяется в электроустановках с любым напряжением и любым режимом нейтрали.

Наибольшее распространение защитное отключение получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1 кВ с заземленной или изолированной нейтралью.

Защитное отключение применяют:

- в передвижных электроустановках напряжением до 1000 В; для отключения электрооборудования, удаленного от источника питания, как дополнение к занулению;
- в электрифицированном инструменте, как дополнение к защитному заземлению или занулению;
- в скальных, многолетнемерзлых грунтах, при невозможности выполнить необходимое заземление;
- в электрических сетях жилых зданий, где отсутствуют заземление или зануление.

Основные требования к защитному отключению

Быстродействие. Длительность отключения поврежденного участка сети должна быть не более 0,2 с или не более величины, определенной из формулы $I_{дон.} = \frac{50}{t}$, где $I_{дон.}$ – предельно допустимый ток, не вызывающий смертельного поражения; $t \leq 1$ с – длительность воздействия электрического тока. Время отключения складывается из времени работы реле защиты (0,01–0,02 с) и собственного времени отключающего коммутационного аппарата (0,01 с – для автомата с электромагнитным расцепителем, 0,2 с – для автомата с тепловым расцепителем, имеющим обратно зависимость от тока характеристику).

Надежность, отсутствие отказов, ложных срабатываний. Для этого в схеме должен осуществляться самоконтроль, сигнализирующий о неисправностях; предусматриваются кнопки для периодической проверки исправности схемы.

Высокая чувствительность. Входной сигнал по току не должен превышать нескольких миллиампер, а по напряжению – несколько десятков вольт.

Селективность, т. е. избирательность отключения только аварийного участка ближайшими к месту повреждения коммутационными аппаратами.

Рекомендации по применению УЗО

В жилых и общественных зданиях для повышения уровня электробезопасности цепей розеток и оборудования нужно использовать УЗО стокм срабатывания 30 мА. Для повышения уровня защиты от возгорания при замыкании требуется УЗО с током срабатывания 300 мА (ПУЭ 7).

В ванных и душевых помещениях требуется устанавливать УЗО с током срабатывания 10 мА, если на них выделено отдельная линия и током 30 мА в остальных случаях.

На строительных площадках в соответствии с требованием российского стандарта (ГОСТ Р50571.23-2000) должны быть

установлены в каждом распределительном щите для защиты цепей штепсельных розеток УЗО с током срабатывания до 30 мА.

На промышленных объектах для защиты цепей штепсельных розеток нужно устанавливать УЗО с током срабатывания не более 30 мА. Во всех вводно-распределительных щитах для защиты от пожаров должно быть установлено УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током, не превышающим 0,5 А.

В сельскохозяйственных объектах для защиты цепей штепсельных розеток следует устанавливать УЗО с током срабатывания не более 30 мА. В животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых во вводном щитке.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой). Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищенную электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током.

Иными словами защитное отключение заключается в том, что повреждение электроустановки приводит к изменениям в сети. Например, при замыкании фазы на землю изменяется напряжение фаз относительно земли – значение фазного напряжения будет стремиться к величине линейного напряжения. При этом возникает напряжение между нейтралью источника и землей, так называемое напряжение нулевой последовательности. Снижается общее сопротивление сети относительно земли при изменении сопротивления изоляции в сторону его уменьшения и т. д.

Все УЗО по виду входного сигнала классифицируют на несколько типов (рис. 1).

Кроме того УЗО могут классифицироваться по другим критериям, например, по конструктивному исполнению.

Основными элементами любого устройства защитного отключения являются датчик, преобразователь и исполнительный орган.

Основными параметрами, по которым подбирается то или иное УЗО, являются: номинальный ток нагрузки, т. е. рабочий ток электроустановки, который протекает через нормально замкнутые контакты УЗО в дежурном режиме, номинальное напряжение, уставка, время срабатывания устройства.



Рис. 1. Классификация УЗО по виду входного сигнала

Рассмотрим более подробно УЗО, реагирующее на потенциал напряжения на корпусе относительно земли, предназначенное для обеспечения безопасности при возникновении на заземленном (или зануленном) корпусе электроустановки повышенного потенциала напряжения. Датчиком в этом устройстве (рис. 2) служит реле P , обмотка которого включена между корпусом электроустановки и вспомогательным заземлителем R_b . Электроды вспомогательного заземлителя R_b располагаются вне зоны растекания токов заземлителя R_z .

При замыкании на корпус защитное заземление R_3 снизит потенциал корпуса относительно земли до величины $j_3 = I_3 R_3$. Если по каким-либо причинам окажется, что $j_3 > j_{3\text{доп}}$, где $j_{3\text{доп}}$ – потенциал корпуса, при котором напряжение прикосновения не превышает допустимого, то срабатывает реле P , которое своими контактами замкнет цепь питания катушки коммутационного аппарата и произойдет отключение поврежденной электроустановки от сети.

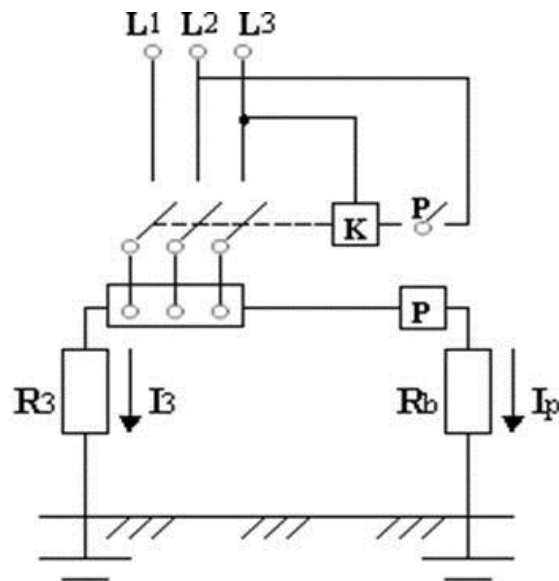


Рис. 2. Схема УЗО, реагирующего на потенциал напряжения на корпусе

Принцип построения схем защитного отключения заключается в том, что перечисленные режимные изменения в сети воспринимаются чувствительным элементом (датчиком) автоматического устройства как сигнальные входные величины. Датчик выполняет роль реле тока или реле напряжения. При определенном значении входной величины защитное отключение срабатывает и отключает электроустановку. Значение входной величины называют уставкой.

Фактически данный тип УЗО дублирует защитные свойства заземления или зануления и применяется в качестве дополнительной защиты, повышая надежность заземления или зануления.

Данный тип УЗО может применяться в сетях с любым режимом нейтрали, когда заземление или зануление неэффективно.

УЗО, реагирующее на дифференциальный (остаточный) ток (рис. 3), находят широкое применение во всех отраслях промышленности. Характерной их особенностью является многофункциональность. Такие УЗО могут осуществлять защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении, при косвенном прикосновении, при несимметричном снижении изоляции проводов относительно земли в зоне защиты устройства, при замыканиях на землю и в других ситуациях.

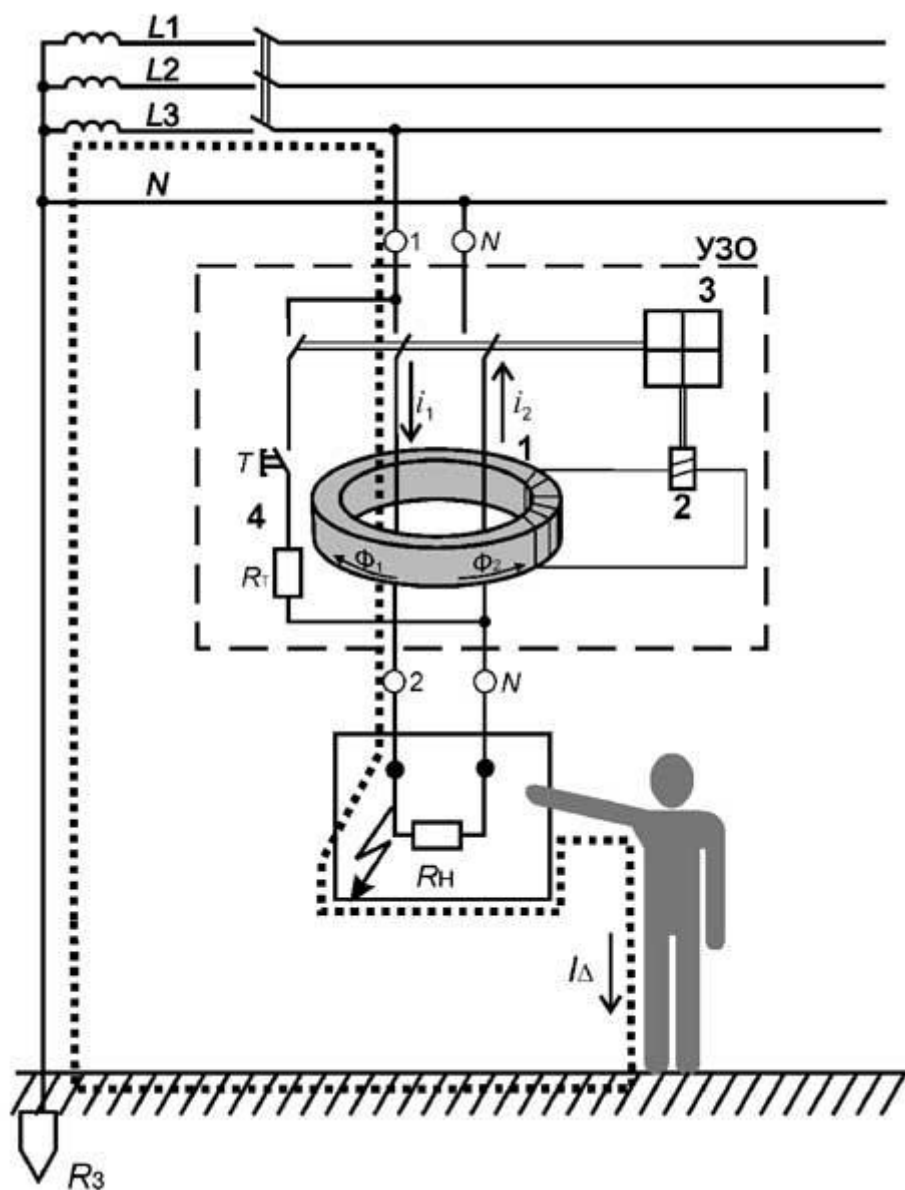


Рис 3. Принцип работы УЗО

Принцип действия УЗО дифференциального типа заключается в том, что оно постоянно контролирует дифференциальный ток и сравнивает его с уставкой. При превышении значения дифференциального тока уставки УЗО срабатывает и отключает аварийный потребитель электроэнергии от сети. Входным сигналом для трехфазных УЗО является ток нулевой последовательности. Входной сигнал УЗО функционально связан с током, протекающим через тело человека I_q .

Область применения УЗО дифференциального типа – сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ (система TN-S).

Схема включения УЗО, реагирующего на дифференциальный ток в сети с заземленной нейтралью типа TN-S, представлена на рис. 4.

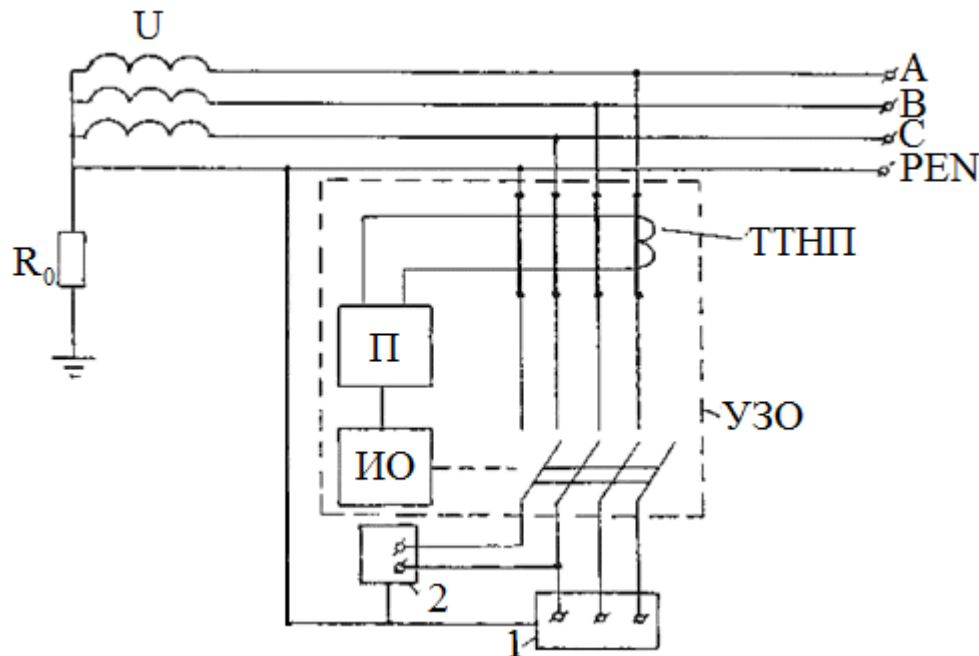


Рис. 4. Схема подключения к сети УЗО (система TN-S), реагирующего на дифференциальный ток

Датчиком такого устройства является трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП), на выходных обмотках которого формируется сигнал, пропорциональный току через тело человека I_q . Преобразователь УЗО (П) сравнивает значение входного сигнала с уставкой, значение которой определяется допустимым током через тело человека, усиливает входной сигнал до уровня, необходимого для управления исполнительным орга-

ном (ИО). Исполнительный орган, например, контактор, отключает электроустановку от сети в случае возникновения опасности поражения электрическим током в зоне защиты УЗО.

По условиям функционирования дифференциальные УЗО подразделяются на следующие типы: АС, А, В, S, G.

УЗО типа АС – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно, либо медленно возрастающий.

УЗО типа А – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно, либо медленно возрастающие.

УЗО типа В – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи.

УЗО типа S – устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения).

УЗО типа G – то же, что и типа S, но с меньшей выдержкой времени.

Конструктивно дифференциальные УЗО разделяются на два типа:

- *электромеханические* УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания. Источником энергии, необходимой для функционирования таких УЗО – выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам входной сигнал – дифференциальный ток, на который оно реагирует;

- *электронные* УЗО, функционально зависящие от напряжения питания. Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Основными параметрами УЗО дифференциального типа являются:

- уставка (дифференциальный отключающий ток);
- время срабатывания;
- ток нагрузки;
- напряжение питания.

Область применения УЗО, *реагирующих на напряжение нулевой последовательности* (рис. 5), – трехфазные трехпроводные

сети преимущественно до 1000 В малой протяженности с изолированной нейтралью, обладающие высоким сопротивлением изоляции и небольшой емкостью относительно земли.

Назначение этих УЗО – устранение опасности поражения током, возникающей при глухом замыкании одной или двух фаз на землю, в том числе при замыкании фазы на заземленный корпус. Эти схемы, как правило, не отключают сеть при замыкании фазы на землю через большое сопротивление, а, следовательно, и при прикосновении человека к токоведущей части.

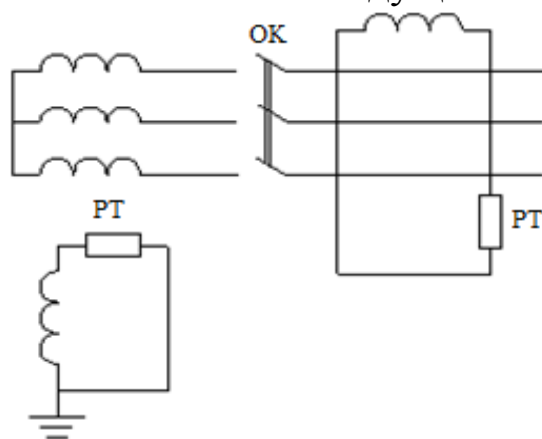


Рис. 5. Схема УЗО, реагирующего на ток нулевой последовательности

Принцип действия этих УЗО – быстрое отключение сети от источника питания при возникновении напряжения нулевой последовательности, обусловленной несимметрией полных проводимостей проводов сети относительно земли выше некоторого предела.

УЗО – реагирующие на комбинированный входной сигнал. Комбинированные схемы УЗО более сложны, чем простые, реагирующие только на одну входную величину. Всякое усложнение защитного отключения должно оправдываться значительным улучшением его защитных способностей и других качеств. Например, устройства, сочетающие вентильную схему со схемой на напряжении нулевой последовательности, осуществляют автоматический контроль изоляции с переменной уставкой, зависящей от степени несимметрии сопротивлений фаз относительно земли, которая определяет величину напряжения нулевой последовательности. Последняя зависит не только от омического со-

противления изоляции, но и от емкости сети. Поэтому получается характеристика, не удовлетворяющая условиям безопасности.

УЗО – *реагирующие на ток замыкания на землю* (рис. 6). Короткие замыкания, как правило, развиваются из дефектов изоляции, замыканий на землю, утечек тока на землю. УЗО, реагируя на ток утечки на землю или защитный проводник, заблаговременно, до развития в короткое замыкание, отключает электроустановку от источника питания, предотвращая тем самым недопустимый нагрев проводников, искрение, возникновение дуги и возможное последующее возгорание.

УЗО – *реагирующие на оперативный ток* (рис. 7). Предназначены для непрерывного автоматического контроля сопротивления изоляции фаз измерительным (оперативным) током, а также защиты человека при прикосновении к токоведущим частям. Используют в сетях до 1000 В с изолированной нейтралью и малой протяженностью. Сложные по устройству, не селективны. Отсутствует контроль самоисправности.

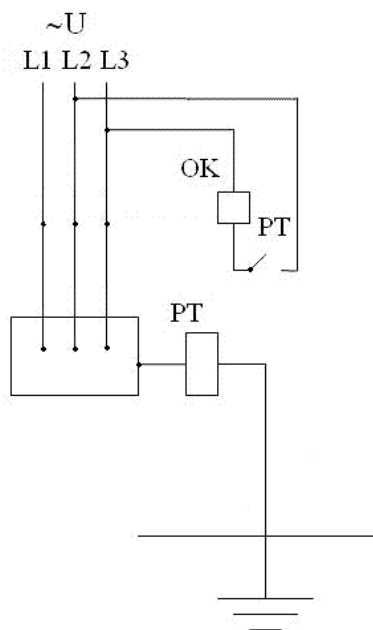


Рис. 6. Схема УЗО, реагирующего на ток замыкания на землю

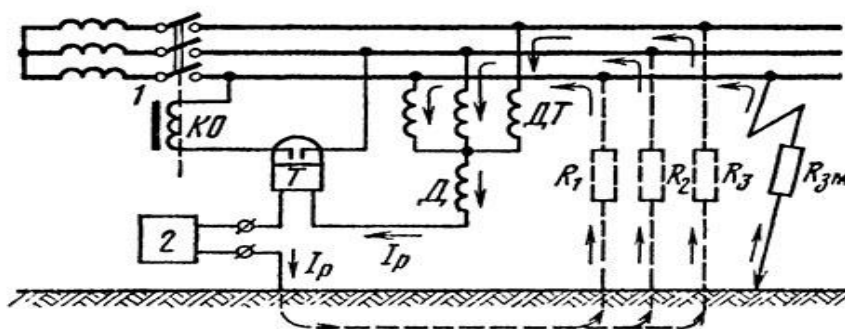


Рис. 7. Схема УЗО, реагирующего на оперативный ток

УЗО – реагирующие на ток нулевой последовательности (рис. 8). УЗО обеспечивает безопасность человека при прикосновении к заземленному или зануленному корпусу при замыкании на него фазы. Магнитопровод тока нулевой последовательности охватывает все провода сетей. При возникновении асимметрии проводимости фаз относительно земли (замыкание фазы на землю) появляется ток, который отключает защищаемый участок.

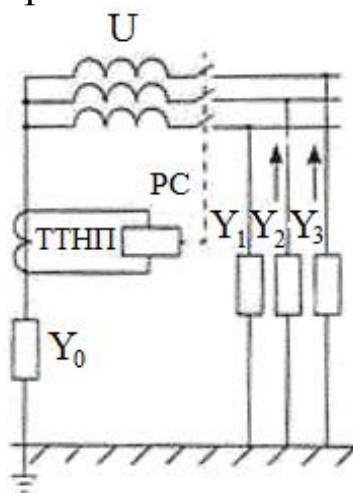


Рис. 8. Схема УЗО, реагирующего на ток нулевой последовательности (ТТНП – трансформатор тока нулевой последовательности)

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается целый ряд УЗО различного назначения. Кроме того, широко используются УЗО известных зарубежных фирм, таких как Siemens, ABB, GE Power, ABL Sursum, Hager, AEG, Baco, Legrand, Merlin-Gerin, Circutor и др.

Применение УЗО должно осуществляться в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) (Седьмое издание).

Основные нормируемые параметры УЗО

Согласно ГОСТ Р 50807-95 нормируются следующие параметры УЗО:

- номинальное напряжение (U_n) – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО. $U_n = 220, 380 \text{ В}$;

- номинальный ток нагрузки (I_n) – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

$I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 \text{ А}$;

- номинальный отключающий дифференциальный ток (I_{Dn}) – значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$I_{Dn} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5 \text{ А}$;

- номинальный неотключающий дифференциальный ток (I_{Dn0}) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$I_{Dn0} = 0,5I_{Dn}$;

- предельное значение неотключающего сверхтока (I_{nm}) – минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО. $I_{nm} = 6I_n$;

- сверхток – любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки.

- номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) (I_m) – действующее значение ожидаемого тока, который УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение $I_m = 10I_n$ или 500 А (выбирается большее значение);

– номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току (I_{Dm}) – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение $I_{Dm} = 10I_n$ или 500 А (выбирается большее значение);

– номинальный условный ток короткого замыкания (I_{nc}) – действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$I_{nc} = 3000; 4500; 6000; 10\,000$ А;

– номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания (I_{Dc}) – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность. $I_{Dc} = 3000; 4500; 6000; 10\,000$ А.

В ГОСТ Р 51326.1-99 содержится требование: «Изготовитель должен сообщить выдерживаемые УЗО значения интеграла Джоуля (I^2t) и пикового тока (I_p). В случае если они не определены, применяют минимальные значения (табл. 1)».

Таблица 1

I_{nc} и I_{Dc}	I_p , кА I^2t , кА ² ×с	$I_n = 16$	$16 < I_n < 32$	$32 < I_n < 40$	$40 < I_n < 63$	$63 < I_n < 80$	$80 < I_n < 125$
3000	I_p	1,10	1,85	2,35	3,30	3,70	3,95
	I^2t	1,20	4,50	8,70	22,5	36,0	65,0
4500	I_p	1,15	2,05	2,70	3,90	4,80	5,60
	I^2t	1,45	5,00	9,70	25,0	40,0	72,5
6000	I_p	1,30	2,30	3,00	4,05	5,10	5,80
	I^2t	1,60	6,00	11,5	28,0	47,0	82,0

Номинальное время отключения T_n – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах. Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО типа АС при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать приведенных в табл. 2.

Максимальное время отключения, установленное в табл. 2, распространяется также на УЗО типа А. При этом испытания УЗО типа А проводят при значениях токов I_{Dn} , $2I_{Dn}$, $5I_{Dn}$ и 500 А с коэффициентом 1,4 (при $I_{Dn} > 0,01$ А) и с коэффициентом 2 (при $I_{Dn} \leq 0,01$ А).

Таблица 2

Время отключения T_n , с			
$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 А
0,3	0,15	0,04	0,04

Стандартные значения допустимого времени отключения и неотключения для УЗО типа S при любом номинальном токе нагрузки свыше 25 А и значениях номинального дифференциального тока свыше 0,03 А не должны превышать приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Дифференциальный ток	I_{Dn}	$2I_{Dn}$	$5I_{Dn}$	500 А
Максимальное время отключения	0,5	0,2	0,15	0,15
Минимальное время неотключения	0,13	0,06	0,05	0,04

На рис. 9 приведена графическая интерпретация области срабатывания УЗО в зависимости от кратности дифференциального тока.

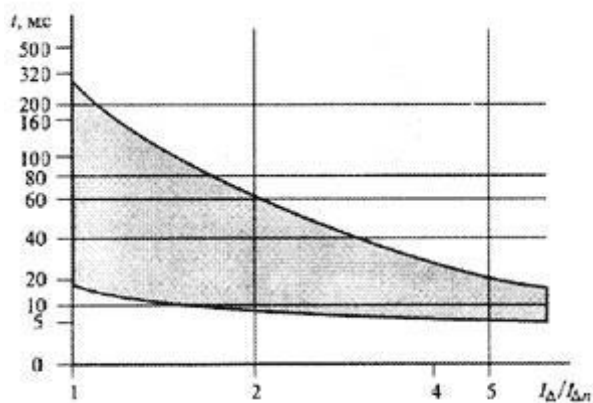


Рис 9. Времятоковая характеристика УЗО

В качестве примера исполнения УЗО, отвечающего всем требованиям ГОСТ Р 50807-95, в таблице 4 приведены технические характеристики АСТРО-УЗО производства ОПЗ МЭИ. На рис. 10 показан внешний вид УЗО.

Таблица 4

Наименование параметра	Номинальное значение
Номинальное напряжение U_n , В	220, 380
Частота f_n , Гц	50
Номинальный ток нагрузки I_n , А	16, 25, 40, 63, 80
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставки) $I_{\Delta n}$, mA	10, 30, 100, 300
Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$	$0,5 I_{\Delta n0}$
Номинальная включающая и отключающая (коммутационная) способность I_m , А	1500
Номинальный условный ток короткого замыкания (термическая стойкость) при последовательно включенной плавкой вставке 63 А I_{nc} , А	10000
Номинальное время отключения при номинальном дифференциальном токе T_n , не более, мс	30
Диапазон рабочих температур, °C	-25...+ 40
Максимальное сечение подключаемых проводов, мм ²	25, 50
Срок службы:	
электрических циклов, не менее	4000
механических циклов, не менее	10000



Рис. 10. Внешний вид УЗО

Выбор УЗО

Согласно классификации УЗО делятся на типы, реагирующие на:

- напряжение корпуса относительно земли;
- ток замыкания на землю;
- напряжение нулевой последовательности;
- оперативный ток
- и т. д.

УЗО, предназначенные для отключения электроустановок при прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением, должны иметь такие характеристики, чтобы при их использовании ток, протекающий через человека I_q (или U_{np}), и продолжительность воздействия тока τ в интервале до 1 с не превышали допустимых значений. Напряжения U_{np} и токи I_q , проходящие через человека при аварийном режиме работы электроустановки, представлены в табл. 5. Исходя из этого условия, требуемое время срабатывания τ_c УЗО может быть определено либо по графику (рис. 11) либо по табл. 6.

Таблица 5

Род и частота тока	Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности											
		0,01- 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0 более
Переменный, 50 Гц	$U_{пр.доп}$, В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	42
	$I_{ч доп}$, мА	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	6
Переменный, 400 Гц	$U_{пр.доп}$, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	42
	$I_{ч доп}$, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	30	110	100	8
Постоянный	$U_{пр.доп}$, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	50
	$I_{ч доп}$, мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15

Выбор уставки производится исходя из условий обеспечения безопасности с помощью расчётных зависимостей, связывающих входной сигнал УЗО с параметрами электрической сети и тела человека. Рассчитанные величины уставок следует скорректировать до рекомендуемых значений.

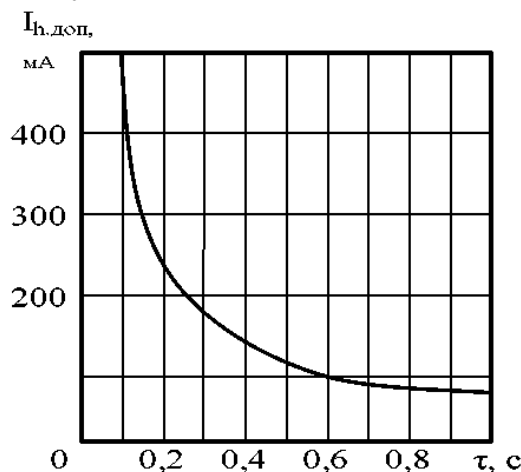


Рис. 11. График зависимости $I_{н.доп}$ от продолжительности воздействия тока

Для сетей с глухозаземлённой нейтралью стандартные значения уставок составляют 0,002, 0,006, 0,01, 0,02, 0,03, 0,1, 0,3, 0,5, 1 А (для селективных УЗО ещё 2 и 5 А).

Для сетей с изолированной нейтралью при выборе уставки следует пользоваться следующими рекомендациями. Для селективных УЗО рекомендуются следующие значения уставок: при напряжении сети до 1000 В – 0,025 А и свыше 1000 В – 0,3, 0,5, 0,75, 1,5 А.

В устройствах, реагирующих на ток нулевой последовательности, датчиком является трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП). Наибольшее распространение получила конструкция датчика с магнитопроводом тороидальной формы. Первичными обмотками трансформатора служат фазные проводники, пропущенные через окно магнитопровода; вторичная обмотка равномерно расположена на магнитопроводе и нагружена на входное сопротивление преобразователя.

Таблица 6

Тип УЗО	Напряжение сети, В	Переменный ток, Гц	Нейтраль	Мощность защищаемой установки, кВт	Ток нагрузки, А	Чувствительность (по току утечки фазы на землю), мА	Время срабатывания защиты, с
УАКИ-380	220/380	50	Изолированная	—	—	—	—
УАКИ-660	380/660	50	— // —	—	—	—	—
С-881	220	50	Заземленная	0,6	—	10	—
С-899	220	200	— // —	—	—	20	0,02
С-901	220/380	50	— // —	1,1/2,2	—	10	—
С-904	220/380	50	— // —	—	—	0,8	—
ИЭ-9801	220/380	50	— // —	2,2	—	1,0	0,05
ИЭ-9802	220/380	50	— // —	2,2/4	—	150	0,05
ИЭ-9806	220/380	200	— // —	2,2	—	30	0,05
ИЭ-9807	220/380	50	— // —	—	16-40	10	0,1
ЗОУП-25	220/380	50	— // —	—	25	10	0,05
РУД-024	220/380	50	— // —	—	25	20	0,025

При замыкании на заземленный корпус входной ток ТТНП:

$$I_{ex} = \frac{I_q \times R_q}{R_3 \times \alpha_1 \times \alpha_2} = \frac{U}{R_3 \times \alpha_1 \times \alpha_2}.$$

Уставка УЗО в этом случае должна удовлетворять соотношению

$$I_y \leq \frac{U_{np.don}}{R_3 \times \alpha_1 \times \alpha_2}$$

или

$$I_y \leq \frac{I_{ч.don} \times R_q}{R_3 \times \alpha_1 \times \alpha_2},$$

где $U_{np.don}$ и $I_{ч.don}$ – предельно допустимые напряжения прикосновения и ток через тело человека в зависимости от времени его воздействия (табл. 5).

В худшем по условиям поражения случае $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, тогда

$$I_y \leq \frac{U_{np.don}}{Z_p + R_3} \quad \text{или} \quad I_y \leq \frac{I_{ч.don} \times R_q}{R_3 \times \alpha_1 \times \alpha_2}.$$

Эти соотношения позволяют определить уставку и быстродействие УЗО по заданному сопротивлению R_3 или по известным характеристикам УЗО найти необходимое сопротивление заземляющего устройства. При замыкании фазы на зануленный корпус ток уставки:

$$I_y \leq I_{кз}.$$

Совместное применение зануления и защитного отключения позволяет снизить требования к сопротивлению петли «фаза-нуль» и к коэффициенту фазности номинального тока автомата защиты.

Устройства с уставкой 10 мА обеспечивают высокую вероятность защиты, как при прямом, так и при косвенном прикосновении человека к токоведущим частям.

Устройства с уставкой 300, 500 и 1000 мА эффективны только при замыкании на заземлённый (или занулённый) корпус. В табл. 7 приведены характеристики выпускаемых промышлен-

ностью УЗО ($f = 50$ Гц), реагирующих на ток нулевой последовательности.

Таблица 7

Наименование УЗО	Напряжение сети, В	Характеристики обслуживаемой установки		Уставка защиты (при однофазной утечке на землю), мА	Время срабатывания защиты, с, не более
		Мощность, кВт, не более	Номи- нальный ток, А		
ИЭ-9813	380/220	—	10	10	0,05
ИЭ-9814	380/220	—	10	10	0,05
ЗОУП-25	380/220	—	25	10	0,05-0,1
ЗОУП-25П4	220/200	5	—	10	0,05
АЕ-2443	380/220	—	63	30, 100	0,1
РУД-05	380/220	—	100	30, 100	0,06
РУД-05-УЗ	380/220	—	100, 250	30, 100, 300	0,06

Рекомендуемая схема включения УЗО представлена на рис. 12. Такое подключение трёхфазной нагрузки H_1 позволяет максимально использовать эффективность УЗО и дает возможность подключать в зоне защиты однофазные нагрузки H_2 . Фазные и нулевой рабочий проводники образуют первичную обмотку ТТНП.

При такой схеме проявляются одновременно защитные свойства зануления и защитного отключения.

Усилитель на рис. 12 предназначен для усиления сигнала датчика (реле), если он оказывается недостаточно мощным. П-прибор защитного отключения состоит из элементов, которые реагируют на изменение какого-либо параметра электрической сети и дают сигнал на отключение.

УЗО на токе нулевой последовательности используется в сетях любого напряжения с различным режимом нейтрали с целью защиты человека как в случае прикосновения к корпусу электро-

установки, оказавшемуся под напряжением, так и при прикосновении непосредственно к фазе сети.

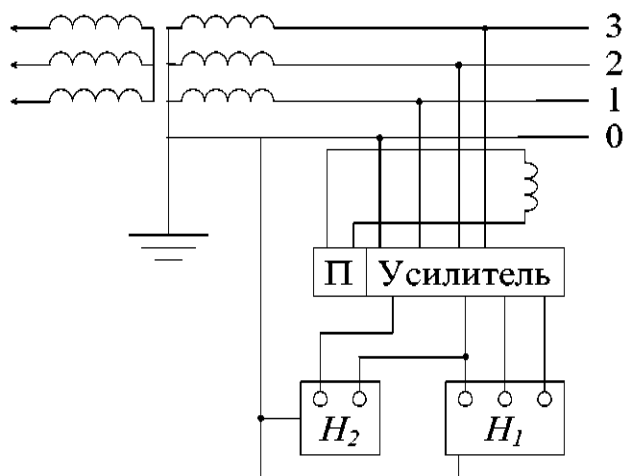


Рис. 12. Рекомендуемая схема включения УЗО:

H_1 – трёхфазный потребитель; H_2 – однофазный потребитель

Устройства, реагирующие на потенциал корпуса, рекомендуется применять в сетях всех напряжений независимо от режима нейтрали, когда система защитного заземления или зануления малонадежна или недостаточно эффективна. Вместе с тем из-за неселективности работы устройств этого типа использование таких УЗО ограничивается установками с индивидуальными заземлениями (например, передвижные электроустановки) (рис. 13).

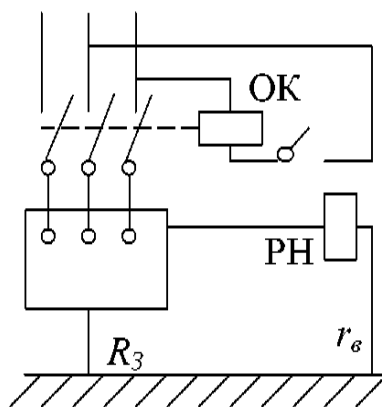


Рис. 13. Принципиальная схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса: R_3 – сопротивление защитного заземления; r_6 – сопротивление вспомогательного заземления;

ОК – отключающая катушка автоматического выключателя;

РН – реле максимального напряжения

Расчет УЗО выполняется в следующей последовательности:

1. Определяется уставка $\phi_{уст}$, т. е. производится расчет допустимого значения потенциала на корпусе относительно земли, при котором напряжение прикосновения не превысит допустимое:

$$\phi_{уст} = \frac{U_{пр.доп}}{\alpha_1 \times \alpha_2},$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты напряжения прикосновения.

2. Рассчитывается напряжение срабатывания $U_{ср}$ РН, которое должно быть меньше $\phi_{уст}$ и $U_{пр.доп}$:

$$U_{ср} = \frac{U_{пр.доп} \times Z_P}{\alpha_1 \times \alpha_2 (Z_P + r_г)},$$

где Z_P – полное сопротивление реле.

При известных данных РН ($U_{ср}$, Z_P) для $U_{пр.доп}$ из этого же соотношения можно рассчитать сопротивление вспомогательного заземления.

По величине $U_{ср}$ выбирают тип реле (табл. 8).

Таблица 8

Тип реле	Напряжение срабатывания, В	Первый диапазон		Второй диапазон	
		Длительно допустимое напряжение, В	Полное сопротивление обмотки реле, Ом	Напряжение срабатывания, В	Полное сопротивление обмотки реле, Ом
РН53/60	15 – 60	33	660	30 – 60 (66)	1400
РЧ53/60Д	15 – 60	110	1620	30 – 60 (220)	4680
РН53/200	50 – 200	220	7120	100	15980
РН53/400	100 – 400	110	24700	200	57200

Устройство, реагирующее на ток замыкания на землю (рис. 14), рекомендуется применять в установках, корпуса которых изолированы от земли и между которыми нет электрической связи. Это – ручной электрифицированный инструмент, пере-

движные установки и т. д. Напряжение питающей сети и режим нейтрали могут быть любыми.

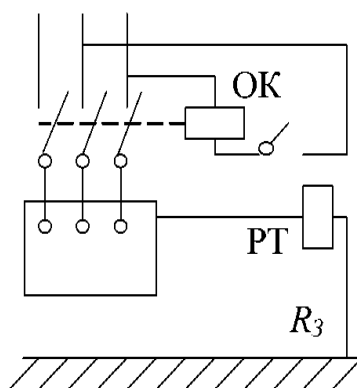


Рис. 14. Принципиальная схема УЗО, реагирующего на ток замыкания на землю: R_3 – заземление корпуса; ОК – отключающая катушка автоматического выключателя; РТ – реле тока

При расчёте данного типа УЗО вначале, исходя из условий безопасности, рассчитывают уставку, т. е. допустимое значение тока, проходящего через заземляющий проводник:

$$I_y = \frac{U_{np.дон}}{Z_p + R_3}.$$

Уставка реле для схемы с включением обмотки реле в расщелку зануляющего проводника

$$I_y = K_3 I_{кз},$$

где $K_3 = (0,5-0,7)$ – коэффициент запаса;

$I_{кз}$ – максимальный ток короткого замыкания.

Затем определяют ток срабатывания РТ, который должен быть равен току уставки $I_{уст}$ (т. е. $I_{ср} = I_{уст}$), и выбирают тип реле (табл. 9).

Устройства, реагирующие на оперативный ток (рис. 15), можно применять в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью. При этом корпуса защищаемого оборудования могут быть как заземлены, так и изолированы от земли.

Таблица 9

Тип реле	Ток срабатывания реле при соединении катушек реле, А		Тип реле	Ток срабатывания реле при соединении обмоток, А	
	последовательно	параллельно		последовательно	параллельно
РТ40/0,2	0,05 – 1	0,1 – 0,2	РТ40/2	5 – 10	10 – 20
РТ40/0,6	0,15 – 0,3	0,3 – 0,6	РТ40/5	12,5 – 25,0	25 – 50
РТ40/2	0,5 – 1	1 – 2	РТ40/10	25 – 50	50 – 100
РТ40/6	1,5 – 3	3 – 6	РТ40/2	50 – 100	100 – 200
РТ40/10	2,5 – 3	5 – 10	–	–	–

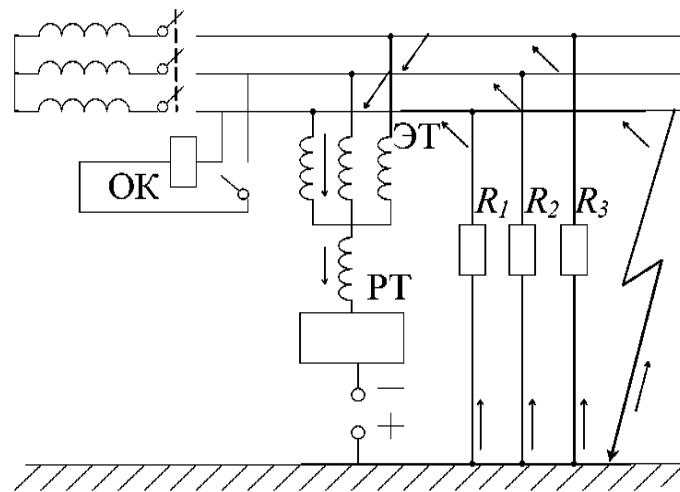


Рис. 15. Принципиальная схема УЗО, реагирующего на оперативный постоянный ток: ОК – отключающая катушка; РТ – реле с малым током срабатывания; ЭТ – трёхфазный дроссель (для получения нулевой точки)

В данном УЗО уставкой является эквивалентное R_3 , зависящее от активного сопротивления изоляции проводов (R_1, R_2, R_3) и замыкания на землю $r_{зм}$:

$$R_{уст} = R_3,$$

откуда

$$R_3 = \frac{Rr_{зм}}{R + r_{зм}},$$

где R – активное сопротивление изоляции фазных проводов по отношению к земле:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}},$$

$$R_{уст} = \frac{RR_q}{R + R_q}.$$

Уставка не зависит от степени несимметрии сопротивлений изоляции фаз. Ток срабатывания РТ определяется зависимостью:

$$I_{cp} \geq \frac{U_{уст}}{R_{pt} + R_{уст}},$$

где $U_{уст}$, В – напряжение источника постоянного тока; R_{pt} – сопротивление реле тока.

Наиболее часто применяются следующие УЗО (табл. 6): вентильные (УАКИ-380, УАКИ-660); на токе нулевой последовательности (С-881, С-901, ИЭ-9801, РУД-024 и ЗОУП-25); комбинированные на постоянном токе и токе замыкания на землю (С-904, ИЭ-9802); на напряжении нулевой последовательности и постоянном оперативном токе (С-899, ИЭ-9806).

Защитное отключение рекомендуется применять в качестве основной дополнительной меры защиты, если электробезопасность не может быть обеспечена путём устройства защитного заземления или зануления, а также в случаях, когда устройство заземления или зануления трудновыполнимо или экономически нецелесообразно.

Устройства защитного отключения могут применяться в сетях любого напряжения с любым режимом нейтрали. Чаще всего УЗО используются в электроустановках напряжением до 1 кВ, когда высока вероятность случайного контакта людей с токоведущими частями, в передвижных электроустановках, в электрифицированном инструменте и др.

*Пример решения задачи
по оценке электропоражения током*

Задача. Подобрать типовое реле в УЗО, работающем на токе замыкания на землю, и используемое для обеспечения электробезопасности персонала в установке, питающейся от трёхфазной четырёхпроводной сети с заземлённой нейтралью.

Решение

Представим схему УЗО на токе замыкания на землю в указанных условиях (рис. 16).

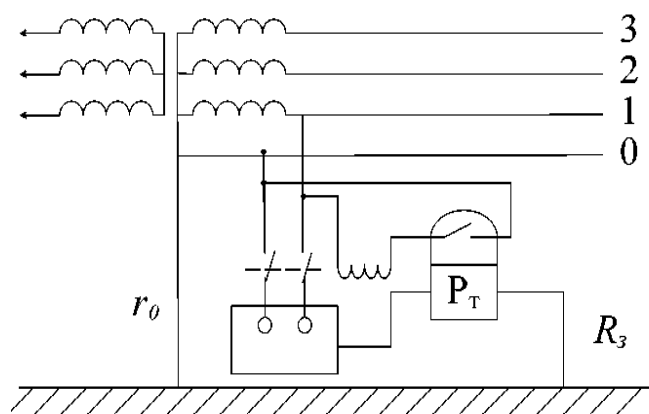


Рис. 16. Схема УЗО на токе замыкания на землю в указанных условиях: $U = 380/220$ В; $Z_p = 32$ Ом; $R_3 = 10$ Ом

Для подбора типового реле тока необходимо знать ток срабатывания реле (табл. 9), который, согласно формуле, равен току уставки, т. е. $I_{cp} = I_{уст}$.

Ток уставки

$$I_y = \frac{U_{np.don}}{Z_p + R_3},$$

где $U_{np.don}$ – предельно допустимое напряжение прикосновения. При продолжительном воздействии тока (более 1 с) оно не должно превышать 42 В (табл. 5);

$Z_p = 32$ Ом – полное сопротивление обмотки реле;

$R_3 = 10$ Ом – сопротивление заземления.

Тогда

$$I_y = \frac{42}{42} = 1 \text{ А.}$$

Вывод. Согласно приложению (табл. 9), подходящим для заданных условий будет реле типа РТ40/2 при параллельном соединении обмоток.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение защитному отключению в электроустановках.
2. Пояснить, что такое селективность защитного отключения.
3. Перечислите основные требования к защитному отключению.
4. Где применяют защитное отключение?
5. Опишите принцип работы УЗО?
6. На какие типы по условиям функционирования дифференциальные УЗО подразделяются?
7. Где и в каких системах применяют УЗО дифференциального типа?
8. Перечислите основные параметры УЗО дифференциального типа?
9. Перечислите основные параметры УЗО согласно ГОСТ Р 50807-95

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50807-95 «Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний»;
2. ГОСТ Р 51326.1-99 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний»;
3. ГОСТ Р 51327.1-99 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогично-

го назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний»;

4. ГОСТ Р МЭК 61140-2000 «Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи»; комплекс стандартов ГОСТ Р 50571.1 – ГОСТ Р 50571.23 «Электроустановки зданий».

Нормативная литература

5. Правила устройства электроустановок [Текст]. – 7-е изд. – М.: НТЦПБ, 2012. – 584 с.

6. Монаков, В. К. УЗО. Теория и практика. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2007. – 368 с. twirpx.com