

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

## **УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ**

**Методические указания**

к лабораторной работе

Минск 2006

УДК  
ББК

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Охрана труда». Методические указания рассмотрены на заседании методического совета факультета «Технический сервис в АПК», рекомендованы к изданию.

Протокол № 5 от «31» октября 2006 г.

**Составители:** **Федорчук Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности;  
**Андруш Виталий Григорьевич**, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности;  
**Цвирко Леокадия Юльяновна**, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности.

**Рецензенты:** **Филянович Людмила Прокофьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда БНТУ  
**Синяков Анатолий Леонидович**, кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики БГАТУ

**Ответственный за выпуск Андруш Виталий Григорьевич**

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения .....	4
2 Принцип работы и выполнение устройств защитного отключения .....	5
2.1 Устройство защитного отключения по напряжению на корпусе электроприемника .....	6
2.2 Устройство защитного отключения по току замыкания на землю .....	8
2.3 Устройство защитного отключения по току утечки .....	9
2.3.1 УЗО с трансформатором тока тороидального типа .....	9
2.3.2 УЗО с многофункциональным трансформатором тока .....	11
2.3.3 Устройство защитного отключения типа ЗОУП .....	13
3 Применение устройств защитного отключения .....	15
4 Выбор и использование УЗО .....	20
5 Порядок проведения эксперимента .....	24
5.1 Подготовка к эксперименту .....	25
5.2 Проведение эксперимента .....	25
6 Контрольные вопросы .....	26
7 Содержание отчета .....	27
Литература .....	28
Приложение .....	29

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современный человек постоянно контактирует с электрическими установками на производстве и в быту, поэтому вопросу обеспечения электробезопасности должно уделяться первостепенное внимание.

Каждый специалист в области электротехники должен проявлять особую ответственность и использовать самые эффективные меры защиты, имеющиеся в его распоряжении.

Широко применяемые в настоящее время технические меры электрозащиты при эксплуатации потребительских электроустановок (до 1 кВ) иногда оказываются неэффективными. На практике чаще используется только зануление (системы *TN-C* или *TN-C-S*), которое наряду с известными достоинствами (простота, осуществление электрозащитных функций даже при значительных токах утечки, относительно низкие затраты) обладает и рядом существенных недостатков. Так, при замыкании на открытые проводящие части (корпус) под напряжение попадает все зануленное электрическое и технологическое оборудование, к которому могут прикасаться люди, что уже создает опасную ситуацию. При этом продолжительность перегорания вставки плавкого предохранителя или отключения автомата часто оказывается сравнительно большой (несколько секунд), что заметно повышает вероятность попадания людей под напряжение. При случайном обрыве нулевого провода за местом обрыва по «ходу» энергии при обычно неизбежной несимметрии электрической нагрузки на зануленном оборудовании появляется значительное напряжение, которое действует длительное время. Система зануления не обеспечивает электробезопасность людей при случайном прикосновении к токоведущим частям (одна из самых опасных ситуаций, при которой человек попадает почти под полное фазное напряжение даже в случае прикосновения к одной фазе).

Следует помнить, что в сельском хозяйстве условия эксплуатации электроустановок значительно тяжелее, чем в промышленности. Это связано с наличием повышенной влажности, пыли, агрессивных паров и газов, оказывающих разрушающее влияние на электрическую изоляцию. Наряду с необходимостью обеспе-

чивать электробезопасность людей требуется принимать меры и для обеспечения электробезопасности сельскохозяйственных животных, которые весьма уязвимы к действию электрического тока.

Для дальнейшего быстрого и экономичного повышения уровня электробезопасности следует более широко использовать мировой опыт, накопленный в этой области. В большинстве развитых стран значительное внимание уделяется массовому применению в электрических сетях низкого напряжения систем устройств защитного отключения (УЗО), распространению УЗО и зануления и на сферу быта, повышению качества электрической изоляции бытовых электроприборов, стандартизации требований, предъявляемых к техническим способам и средствам электрозащиты.

## **2 ПРИНЦИП РАБОТЫ И ВЫПОЛНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ**

Защитным отключением в электроустановках до 1 кВ называется автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижение уровня изоляции ниже определенного значения. В последнем случае (при снижении сопротивления изоляции), а также при прикосновении человека к фазе защитное заземление и зануление неэффективны, поэтому устройство защитного отключения здесь незаменимо.

Устройство автоматического защитного отключения состоит из двух основных элементов: прибора-датчика и выключателя. В первый входит:

- 1) непосредственно датчик, реагирующий на определенный внешний сигнал;
- 2) усилитель для усиления входного сигнала датчика;
- 3) цепь контроля для периодической проверки исправности УЗО;
- 4) элементы сигнализации — лампы, измерительные цепи, характеризующие состояние электроустановки.

Устройства защитного отключения (УЗО) должны обеспечивать:

- высокую чувствительность, т.е. реагировать на малые изменения входной величины;
- быстродействие;
- селективность действия — способность отключать от сети лишь поврежденный участок;
- самоконтроль исправности, которым обладают далеко не все УЗО, является обязательным при отсутствии защитного заземления и зануления;
- надежность.

Различают типы УЗО: реагирующие на потенциал корпуса; ток замыкания на землю; токи утечки; комбинированные и др.

## **2.1 Устройство защитного отключения по напряжению на корпусе электроприемника**

Принцип действия УЗО по напряжению на корпусе электроприемника показан на схеме лабораторного стенда (рис. 1). Датчиком здесь является реле напряжения.

Напряжение к схеме подводится после включения рубильника *QS*. При нажатии кнопки «пуск» *SB1*, находящейся на корпусе УЗО, получает питание катушка магнитного пускателя *KM1*, контакты его замыкаются и напряжение сети подводится к электродвигателю *M1*. Отключение потребителя происходит после нажатия кнопки СТОП *SB2*, также расположенной на корпусе устройства.

При замыкании какой-либо фазы на корпус подключённого к питающей сети потребителя (электродвигателя *M1*) ток замыкания протекает по цепи: источник питания, корпус электродвигателя *M1*, размыкающий контакт кнопки КОНТРОЛЬ *SB3*, расположенной на корпусе УЗО, катушка реле напряжения *KV1*, сопротивление  $R_3$  вспомогательного заземления, сопротивление  $R_0$  заземления нейтральной точки источника питания, нулевой провод.

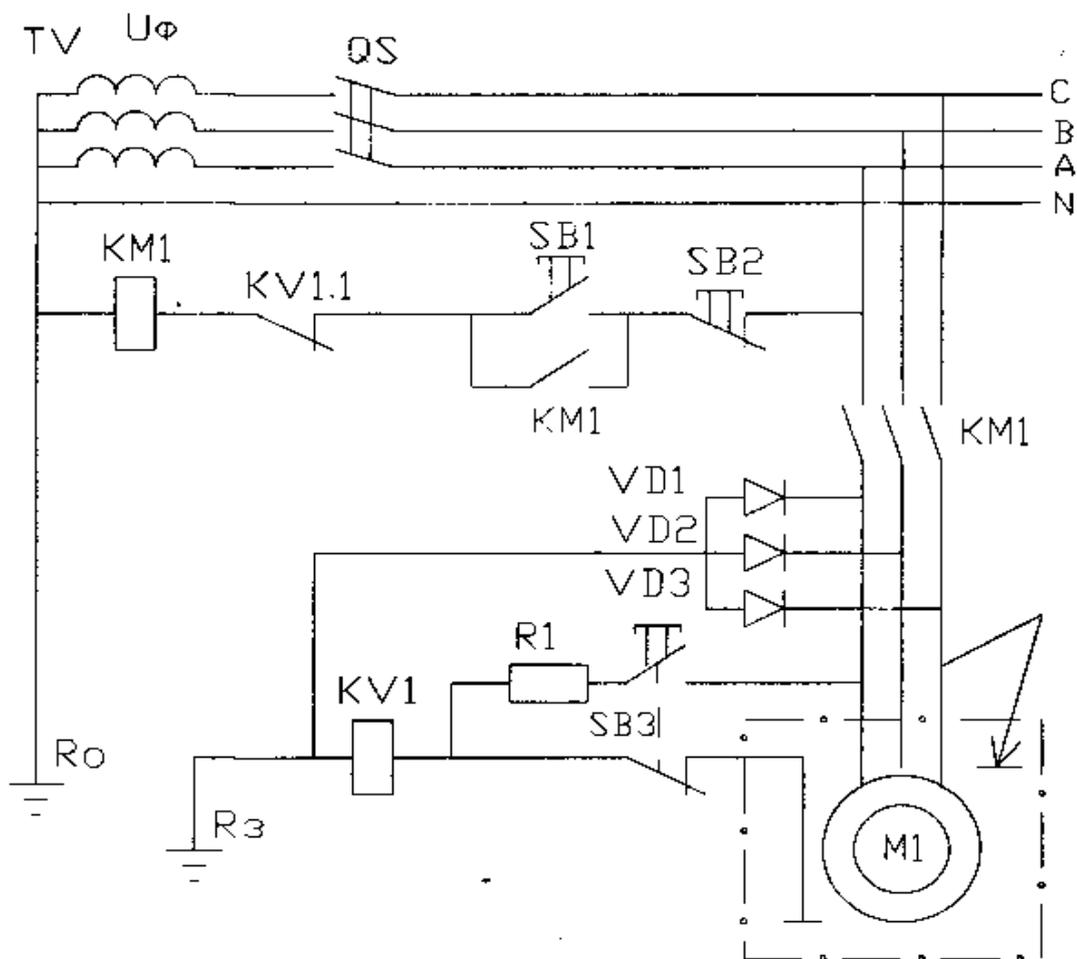


Рис. 1. Схема защитного отключения по напряжению на корпусе электроприемника

Если напряжение на корпусе выше уставки реле напряжения  $KV1$  (например, 12 В), реле срабатывает, его контакт  $KV1.1$  размыкается, обесточивается катушка магнитного пускателя  $KM1$ , силовые контакты его размыкаются и электродвигатель  $M1$  отключается от сети.

В электрической сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью второй конец катушки реле напряжения  $KV1$  соединяют с фазами А, В, С через диоды  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ .

Реле напряжения  $KV1$  может быть настроено на низкое напряжение срабатывания, например 12 В. При появлении меньшего напряжения на корпусе электроустановки УЗО не срабатывает, но такое напряжение можно считать безопасным в течение времени, необходимого для обнаружения повреждения.

Кнопка КОНТРОЛЬ *SB3* используется для периодической проверки исправности УЗО. Проверку производят следующим образом. При включённой, нормально работающей электроустановке нажимают кнопку КОНТРОЛЬ *SB3*. Для схемы, приведённой на рис. 1, ток проходит от фазы А через замыкающий контакт кнопки *SB3*, ограничивающий резистор *R1*, катушку *KVI* и либо через диоды *VD2* и *VD3*, либо через вспомогательное заземление — к источнику напряжения. Реле напряжения *KVI* срабатывает, его контакт *KVI.1* размыкается, происходит обесточивание катушки магнитного пускателя *KM1* и размыкание его контактов. Электродвигатель отключается от сети. Так имитируется однофазное замыкание на корпус электроустановки и проверяется исправность УЗО. Контроль исправности работы любого УЗО производится не реже одного раза в квартал и при включении УЗО в работу.

Недостаток схемы со вспомогательным заземлением заключается в том, что ток с корпуса аварийного электроприёмника может протекать на землю, например, через фундамент электроустановки и УЗО при этом не срабатывает. Поэтому вспомогательный заземлитель располагают на расстоянии 10–20 м от фундамента, а так как для избирательного отключения каждый электроприёмник снабжается индивидуальным заземлителем, то с увеличением количества электроприёмников система заземления существенно усложняется.

Схема УЗО с диодами вместо вспомогательного заземления имеет более низкую чувствительность и менее надёжна, так как в случае отказа диодов устройство становится неработоспособным.

## **2.2 Устройство защитного отключения по току замыкания на землю**

В устройстве, реагирующем на ток замыкания на землю, в рассечку заземляющего (зануляющего) провода включается токовое реле. Схема аналогична предыдущей (только не нужно вспомогательное заземление и вместо реле напряжения используют токовое реле). Может включаться через трансформатор тока.

Достоинства — простота, надежность срабатывания и возможность селективности.

Недостаток — отсутствие самоконтроля, тем более что при обрыве цепи реле нарушается и цепь заземления.

## **2.3 Устройство защитного отключения по току утечки**

### **2.3.1 УЗО с трансформатором тока тороидального типа**

В УЗО, реагирующем на токи утечки, которое является наиболее перспективным в электроустановках потребителей (до 1 кВ), в качестве датчика используют трансформатор тока тороидального типа (рис. 2). В нем роль первичной обмотки выполняют фазные проводники. Вторичная обмотка имеет большое число витков, равномерно расположенных по тороиду, подключается к управляющему органу (в электромеханических УЗО — к чувствительному электромагнитному реле, в электронных — к промежуточному усилителю и другим электронным элементам исполнительного реле). Роль исполнительного механизма обычно играет коммутационный аппарат.

Геометрическая сумма токов, протекающих по первичной обмотке в нормальном режиме работы, равна нулю:  $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = 0$ . При утечке тока равновесие их в первичной обмотке нарушается:  $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = I_Y$ . Тогда в магнитопроводе создаётся магнитный поток, индуктирующий ток во вторичной обмотке, отключающий цепь.

Под  $I_Y$  понимается ток, который протекает в сети при снижении сопротивления изоляции фазного провода, замыкании на открытые проводящие части, а также в случае прикосновения человека к токоведущим частям.

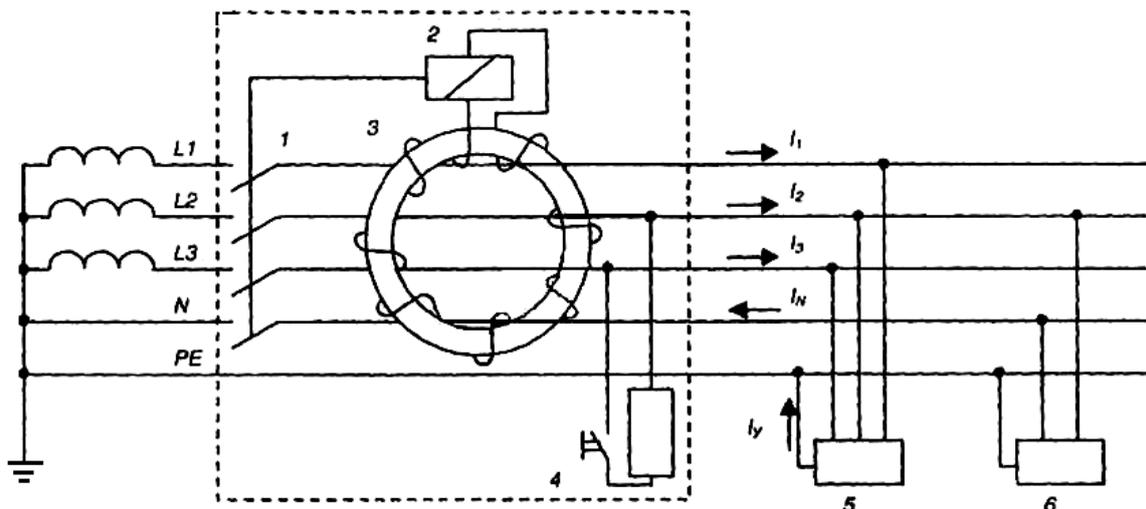


Рис. 2. Схема включения УЗО в сеть *TN-S*:

- 1 — исполнительный механизм; 2 — блок управления; 3 — датчик дифференциального тока;  
 4 — кнопка контроля работоспособности УЗО; 5 — трехфазный электроприемник;  
 6 — однофазный электроприемник

Таким образом, устройства защитного отключения (УЗО) данного типа способны защитить человека, коснувшегося непосредственно токоведущих частей, отключить поврежденный электроприемник при замыкании на открытые проводящие части и предотвратить пожары, возникающие при неисправности изоляции или при снижении ее сопротивления.

В системе *TN* время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы *TN*

Номинальное фазное напряжение $U_{\text{ф}}$ , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, пи-

тающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1.

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

### 2.3.2 УЗО с многофункциональным трансформатором тока

Схема УЗО (рис. 3, *а*) содержит трансформатор тока  $TA$ , во вторичную обмотку которого включено реле напряжения  $KV2$ . Если изоляция хорошая и токи утечки отсутствуют, а нагрузка — трёхфазная симметричная, магнитные потоки всех трёх фаз (рис. 3, *б*) взаимно компенсируются в магнитопроводе трансформатора тока и суммарный магнитный поток равен нулю. Поэтому во вторичной обмотке трансформатора тока  $TA$  ЭДС также равна нулю и реле напряжения  $KV2$  обесточено, а его размыкающий контакт  $KV2.1$  замкнут.

При наличии трёхфазно-однофазной нагрузки, если однофазная нагрузка (осветительная лампа  $EL$ ) включена так, как показано на рис. 3, *а*, магнитные потоки также взаимно компенсируются, и суммарный магнитный поток равен нулю (рис. 3, *в*), вследствие протекания тока через первичные обмотки трансформатора тока  $TA$  в обоих направлениях.

При появлении тока утечки через изоляцию одной из фаз, например в фазе В (вектор В, рис. 3, *а, в*), появляется разность между магнитными потоками, так как ток утечки протекает через первичные обмотки  $TA$  только в направлении к нагрузке, а назад течёт по защитному нулевому проводу или по земле. Векторная сумма токов фаз становится неравной нулю, и во вторичной обмотке трансформатора тока  $TA$  наводится ЭДС, а через обмотку реле  $KV2$  протекает ток. Реле  $KV2$  срабатывает, его контакт  $KV2.1$  размыкается и разрывает цепь питания катушки магнитного пускателя  $KM2$ , силовые контакты его размыкаются и электродвигатель  $M2$  и нагрузка  $EL$  отключаются от сети.

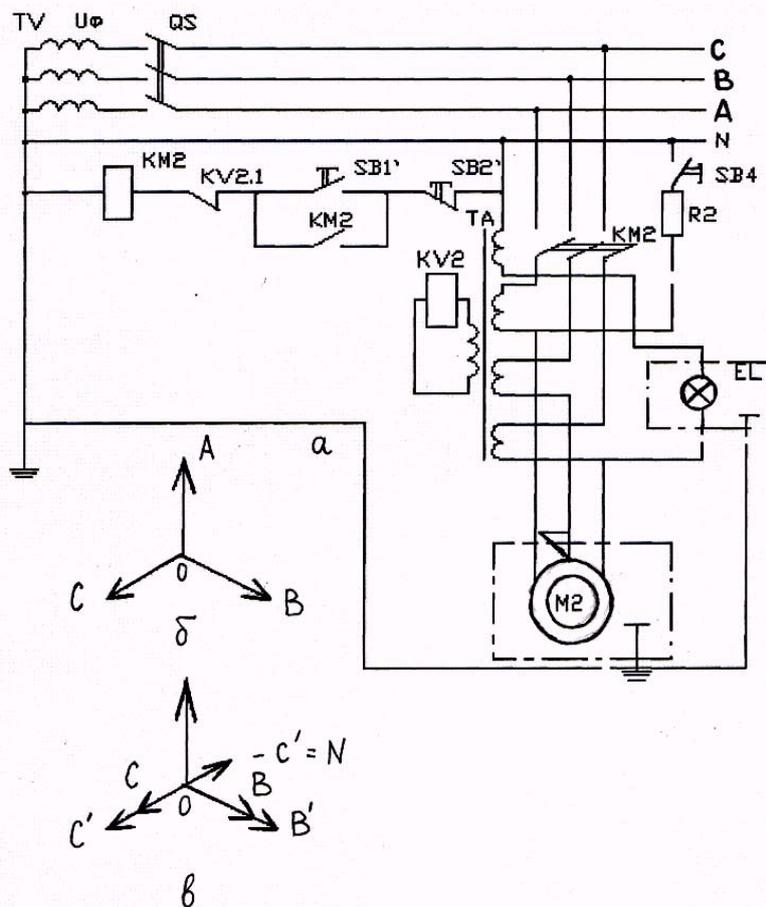


Рис. 3. Защитное отключение по току утечки

*a* — схема защитного отключения; *б* — векторная диаграмма токов и магнитных потоков при симметричной нагрузке; *в* — векторная диаграмма токов и магнитных потоков при наличии тока утечки в фазе В и трехфазно-однофазной нагрузке.

Для контроля исправной работы устройства нажимают кнопку КОНТРОЛЬ *SB4*. При этом происходит искусственная утечка токов в фазе А через резистор *R2*, что также вызывает срабатывание реле *KV2* и отключение электродвигателя *M2* и нагрузки *EL* от сети.

Схема защитного отключения данного типа имеет более высокую по сравнению с предыдущей схемой чувствительность. Эту чувствительность можно еще более увеличить, если появившийся в результате утечки ток во вторичной обмотке трансформатора *TA* усилить с помощью какого-либо усилителя. Усилитель необходим потому, что во избежание пожара в месте повреждения изоляции первичный ток срабатывания таких УЗО не должен пре-

вышать 300–500 мА, а при значении тока менее 25–30 мА и отсутствии усилителя реле *KV2* теряет чувствительность. С усилителем можно получить УЗО с током срабатывания не более 5 мА. Такое УЗО может защищать человека от прикосновения к корпусу электроприёмника с повреждённой изоляцией и от случайного прикосновения к токоведущим частям электроустановки. Недостаток таких чувствительных УЗО — невозможность установки их на группу электроприёмников из-за наличия в такой группе постоянных токов утечки, которые достигают 5–10 мА.

### 2.3.3 Устройство защитного отключения типа ЗОУП-25

Устройство типа ЗОУП-25 на номинальный ток 25 А и ток уставки 10 мА предназначено для защиты людей и животных от поражения электрическим током. Устройство состоит (рис. 4) из магнитного пускателя *KM3* типа ПМЕ-236, кнопок ПУСК *SB5*, СТОП *SB6* и КОНТРОЛЬ *SB7*, расположенных на корпусе прибора, датчика тока утечки трансформатора *TA*, трёхкаскадного частотно-избирательного транзисторного усилителя, на выходе которого включено исполнительное реле *KV3*, и стабилизированного источника питания. Устройство ЗОУП-25 предназначено для трёхпроводной сети (силовые передвижные электроприёмники), так как при работе этих защитных устройств нулевой провод не используется.

При соприкосновении человека или животного с токоведущими частями какой-либо фазы появляется ток утечки (равный или больший тока уставки 10 мА), на вторичной обмотке датчика тока утечки *TA* появляется сигнал, который вызывает переключение транзисторов усилителя и срабатывание реле *KV3*. Контакт *KV3.1* размыкается и разрывает цепь питания катушки магнитного пускателя *KM3*. Силовые контакты *KM3* размыкаются и электродвигатель *M3* отключается от сети. Время срабатывания устройства — 0,05 с.

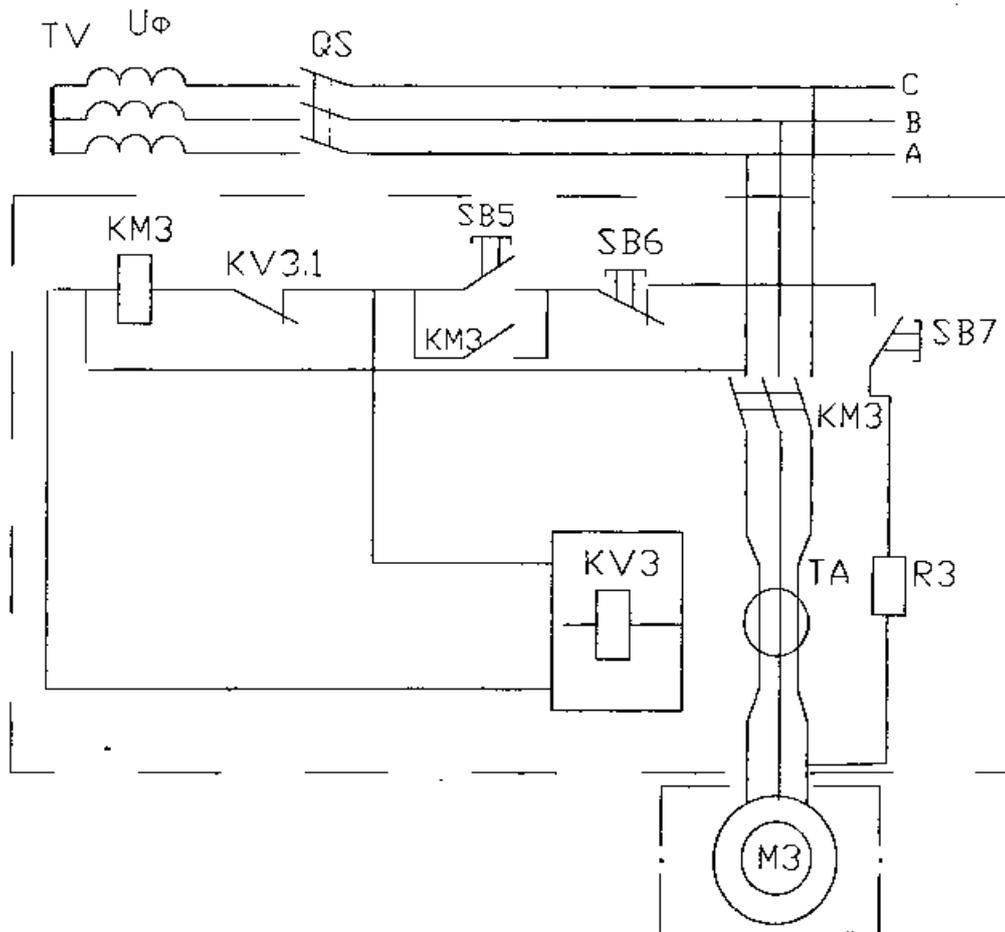


Рис. 4. Схема защитного отключения с помощью устройства ЗОУП-25

При нажатии кнопки КОНТРОЛЬ *SB7* две фазы замыкаются через ограничивающий резистор *R3*, имитируется ток утечки 20 мА и происходит отключение защитного устройства. Это необходимо для проверки исправности ЗОУП-25.

В отличие от ЗОУП-25, в ЗОУП-25 ПЧ питание катушки магнитного пускателя производится постоянным током на пониженном напряжении. ЗОУП-25 и ЗОУП-ПЧ встраиваются в кожух пылерызгонепроницаемого исполнения.

Схема ЗОУП-25 с небольшими изменениями, обусловленными наличием двух ступеней уставки по току утечки (0,03 и 0,1 А), используется с автоматическим выключателем АЕ4243.

### 3 ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

При выборе конкретного варианта применения УЗО на объекте следует учитывать три основных фактора: электрозащитную эффективность УЗО, надежность электроснабжения и затраты на УЗО. Наибольшие электрозащитная эффективность и надежность электроснабжения достигаются применением селективной двухступенчатой схемы установки УЗО. На каждом ответвлении к отдельному потребителю или к группе однородных потребителей устанавливаются УЗО с продолжительностью срабатывания и током уставки возможно меньшими (первая ступень), а на вводе — с большими. При этом фактически вся сеть оказывается в зоне защиты УЗО с наименьшими возможными токами уставки и временем срабатывания, что приводит к наибольшей электрозащитной эффективности. Кроме того, появление тока утечки на любом участке сети вызывает отключение наименьшего числа потребителей. Этим, во-первых, достигается наибольшая надежность электроснабжения (конечно, при прочих равных условиях) и, во-вторых, значительно упрощается отыскание места повреждения изоляции, обусловившего появление тока утечки. Однако затраты на подобную схему наибольшие, поэтому ее можно рекомендовать лишь для наиболее ответственных объектов с большим числом различных потребителей, например для крупных птицефабрик. Все рассуждения о селективной двухступенчатой схеме имеют практический смысл лишь при наличии УЗО с различными временем срабатывания и токами уставки.

При невозможности или экономической нецелесообразности выполнения двухступенчатой схемы размещения УЗО их следует устанавливать либо на фидерах к отдельным потребителям или к группам однородных потребителей, либо на вводе. Последняя схема наименее эффективна, так как вследствие неизбежного увеличения суммарного тока утечки приходится выбирать заведомо больший ток уставки УЗО, а это приводит к снижению электрозащитной эффективности. Кроме того, неизбежно уменьшается надежность

электрооборудования (в случае аварийного увеличения тока утечки хотя бы у одного из потребителей отключается от напряжения весь объект).

Если УЗО устанавливаются на действующем объекте, то после выбора схемы размещения УЗО проводят соответствующую подготовку сети и потребителей. Эта подготовка включает два этапа. Первый — доведение уровня фазной изоляции потребителей и электрической сети относительно земли до требуемого Правилами устройства электроустановок значения (не ниже 500 кОм). Второй — разделение нулевого провода на рабочий и защитный (при применении пятипроводной системы).

УЗО рекомендуется применять в качестве как основной, так и дополнительной меры защиты.

Применение УЗО является обязательным:

- если устройство защиты от сверхтока не обеспечивает нормируемого времени автоматического отключения из-за низких значений токов короткого замыкания и электроустановка не охвачена системой уравнивания потенциалов;
- для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся вне помещений и в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током;
- для групповых линий в мобильных (инвентарных) зданиях из металла или с металлическим каркасом, предназначенных для уличной торговли и бытового обслуживания населения (торговые павильоны, киоски, палатки, кафе, будки, фургоны, боксовые гаражи и т. п.), а также в передвижных и стационарных вагончиках с местами для проживания;
- для групповых линий, питающих электроприёмники классов 0I и I, монтируемые в ванных, душевых и парильных помещениях (кроме электроприёмников, присоединенных к сети через разделительный трансформатор);
- для групповых линий питания светильников местного стационарного освещения при напряжении сети выше 25 В, устанавливаемых в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током;

- для групповых линий питания светильников класса защиты I общего освещения, устанавливаемых в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью поражения электрическим током при высоте установки менее 2,5 м над полом или площадкой обслуживания;
- для систем электрообогрева полов;
- для групповых сетей установок световой рекламы и архитектурного освещения зданий.

В качестве основной меры защиты УЗО рекомендуется использовать для удаленных от основного здания электроприёмников, так как отключение питания с помощью автоматических выключателей или предохранителей в таких случаях затруднительно. Допускается не соединять открытые проводящие части с защитным нулевым проводником (РЕ-проводником), а заземлять их для более четкого срабатывания УЗО.

При этом должно быть соблюдено условие:

$$R_a I_a \leq U_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $I_a$  — ток срабатывания защитного устройства;  $R_a$  — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников — заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника;  $U_{\text{доп}}$  — допустимое напряжение на открытых проводящих частях.

Допустимое напряжение в помещениях без повышенной опасности не должно превышать 50 В, в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных и наружных установках — не более 25 В. Исходя из номинальных отключающих дифференциальных токов УЗО от 6 до 500 мА, сопротивление заземляющего устройства  $R_3$  при допустимом напряжении 50 В должно находиться в диапазоне 800–100 Ом, при допустимом напряжении 25 В — в диапазоне 400–50 Ом.

Смысл подобного нормирования заключается в том, что в случае появления тока утечки на корпус, недостаточного для срабатывания УЗО, корпус может длительно находиться под напряжением, но под заведомо безопасным. Отметим, что применение подобной системы оправдано лишь при условии высокой надежности защитного отключения. Это обеспечивается как повышением надежности УЗО, в том числе и введением в схему УЗО самоконтроля исправности, так и применением двух- или многоступенчатой селективной системы УЗО, устанавливаемых, например, на общем вводе и на фидерах к отдельным потребителям или их группам. При этом селективность действия УЗО достигается наиболее просто — отстройкой по времени срабатывания, например, в 0,05 с на фидерах к отдельным потребителям и 0,1 с на общем вводе.

При применении защитного автоматического отключения питания должна быть выполнена основная система уравнивания потенциалов, а при необходимости также дополнительная система уравнивания потенциалов.

Рассмотрим пример оценки электробезопасности при использовании УЗО. Предположим, что электроприемник находится в помещении с повышенной опасностью и оснащен в качестве защитного аппарата УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 100 мА. В этих условиях согласно (1) сопротивление заземляющего устройства может быть  $R_3 \leq 250$  Ом.

При внезапном замыкании на корпус электроприемника (не постепенном снижении сопротивления изоляции) ток замыкания:

$$I_3 = U_{\phi} / (R_0 + R_3), \quad (2)$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение сети;  $R_0$  - сопротивление контура заземления трансформаторной подстанции;  $R_3$  - сопротивление заземляющего устройства электроприемника.

При  $U_{\phi} = 220$  В и  $R_0 = 4$  Ом ток замыкания  $I_3 = 0,867$  А, а напряжение на открытых проводящих частях заземленного электроприемника (корпусе)

$U_{\text{пр}} = 216 \text{ В}$ . Это напряжение соответствует данным таблицы при времени срабатывания УЗО не более 0,4 с.

В производственных зданиях устройствами защитного отключения должны быть оснащены розеточные группы, используемые для подключения переносных электроприборов, ручного электрифицированного инструмента. Номинальный отключающий дифференциальный ток устройства не должен превышать 30 мА.

Для обеспечения пожарной безопасности пожароопасных производств УЗО необходимо устанавливать на вводе во вводном распределительном щитке так, чтобы оно контролировало состояние всей внутренней электрической цепи.

Рекомендуется установка УЗО:

- для электронагревательных кабелей, монтируемых в земле и на открытых пространствах;
- для групповых линий, питающих штепсельные розетки, устанавливаемые на столах для проведения опытов в высших и средних специальных учебных заведениях;
- для групповых линий, питающих штепсельные розетки, электроплиты, насосы и электроводонагреватели в квартирах, коттеджах, в домиках на участках садоводческих товариществ и в хозпостройках;
- в действующем жилом фонде с двухпроводными сетями, где электроприемники не имеют защитного заземления, особенно при плохом состоянии электропроводки (с условием отключения только фазного проводника);
- групповых линий, питающих демонстрационные стенды;
- сетей, где токи короткого замыкания недостаточны для срабатывания максимальной токовой защиты.

Для указанных электроприемников также рекомендуется устанавливать УЗО на ток срабатывания до 30 мА.

## 4 ВЫБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЗО

В одних случаях целесообразно применять групповую защиту, при которой одно устройство защитного отключения (УЗО) обеспечивает безопасность нескольких установок, в других — индивидуальную, предусматривающую размещение защитного аппарата непосредственно на каждой электроустановке (см. п.3).

В электроустановках общественных и жилых зданий суммарная величина тока утечки с учётом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должна превосходить  $1/3$  номинального тока УЗО. При отсутствии данных о токах утечки электроприемников её следует принимать из расчёта  $0,4 \text{ мА}$  на  $1 \text{ А}$  тока нагрузки, а ток утечки сети — из расчёта  $10 \text{ мкА}$  на  $1 \text{ м}$  длины фазного проводника. При выборе уставки УЗО необходимо учитывать, что значение отключающего дифференциального тока находится в диапазоне от  $0,5$  до  $1$  номинального тока уставки.

При последовательной установке УЗО должны выполняться, как указывалось, требования селективности. При двух- и многоступенчатых схемах УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно иметь уставку и время срабатывания не менее чем в три раза большую, чем у УЗО, расположенного ближе к потребителю.

По наличию расцепителей УЗО изготавливаются как имеющими, так и не имеющими защиту от сверхтока. Преимущественно должны использоваться УЗО, представляющие единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока. Использовать УЗО в групповых линиях, не имеющих защиты от сверхтока, без дополнительного аппарата, обеспечивающего эту защиту, недопустимо. При использовании УЗО, не имеющих защиты от сверхтока, должна быть проведена расчетная проверка УЗО в режимах сверхтока с учётом защитных характеристик вышестоящего аппарата, обеспечивающего защиту от сверхтока.

При выборе конкретных типов УЗО необходимо руководствоваться следующим:

- устройства должны быть сертифицированы в Республике Беларусь в установленном порядке;
- технические условия на изготовление должны быть согласованы с Госэнергонадзором Республики Беларусь и УГПН МЧС Республики Беларусь.

В жилых зданиях не допускается применять УЗО, автоматически отключающие потребителя от сети при кратковременном исчезновении или недопустимом падении напряжения сети. При этом УЗО должно сохранять работоспособность на время не менее 5 с при снижении напряжения до 50 % номинального.

В жилых зданиях могут применяться УЗО типа «А», реагирующие не только на переменные, но и на пульсирующие токи повреждений, или типа «АС», реагирующие только на переменные токи утечки. Источником пульсирующего тока являются, например, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые источники света, телевизоры, видеоманитофоны, персональные компьютеры и др.

В сельскохозяйственном производстве УЗО в первую очередь рекомендуется снабжать передвижные электрифицированные установки с кабельным способом питания: на животноводческих фермах — кормораздаточные агрегаты, особенно с использованием для канализации энергии кабель-штор; на открытых зерноочистительных токах, зернопунктах — передвижные транспортеры, зернопогрузчики, зернопульты и другие машины; в механических мастерских, гаражах — передвижные моечные агрегаты, насосы. Место установки УЗО для этих машин нужно выбрать так, чтобы в зону его защиты входил питающий кабель. Зоной защиты УЗО является вся цепь, расположенная после УЗО по ходу энергии.

Для передвижных установок целесообразно применять в качестве индивидуальной защиты устройства с номинальным отключающим дифференциальным

током (током установки) не более 10 мА. Тип заземления сети (*TN-C*, *TN-S* или *TN-C-S*) в этом случае не имеет значения.

Допускается защищать одним УЗО группу, состоящую из 2–4 электроприемников. При групповой защите ток уставки устройства не должен превышать 30 мА. Групповая защита возможна только в сетях ТМ-5 и ТМ-С-5.

В производственных зданиях (механических, ремонтных, столярных мастерских, животноводческих фермах, теплицах и др.) устройствами защитного отключения должны быть оснащены розеточные группы, используемые для подключения переносных электроприборов, ручного электрифицированного инструмента. Номинальный отключающий дифференциальный ток устройства не должен превышать 30 мА.

При ограниченном числе ручного электрифицированного инструмента можно применять розетки со встроенными УЗО, так называемые УЗО-розетки или УЗО-вилки.

Для стационарных потребителей важное значение имеют место установки УЗО, назначение (для защиты от пожаров, для групповой или индивидуальной защиты), обеспечение селективности работы при двух- или трехступенчатой системе защиты, выбор типа устройства.

Применение УЗО требует определенной подготовки всей внутренней сети. Она заключается в выявлении (измерении) естественных токов утечки защищаемой сети и приведении их в соответствие с номинальными отключающими дифференциальными токами УЗО во избежание ложных срабатываний. Токи утечки защищаемой цепи должны быть не менее чем в 3 раза ниже номинального отключающего дифференциального тока устройства. Если токи утечки превышают требуемое значение, необходимо найти и устранить места локальных утечек тока в проводке.

Устройства защитного отключения как технические средства защиты более высокого уровня требуют не только высокой квалификации электротехнического персонала, обеспечивающего монтаж и подключение УЗО, но и определенной квалификации как электротехнического эксплуатационного, так и

всего персонала, работающего на предприятии. Только при таких условиях можно достигнуть приемлемого эффекта от применения УЗО.

Внешний вид и внутренне устройство УЗО на базе дифференцированного автомата приведены на рис. 5.

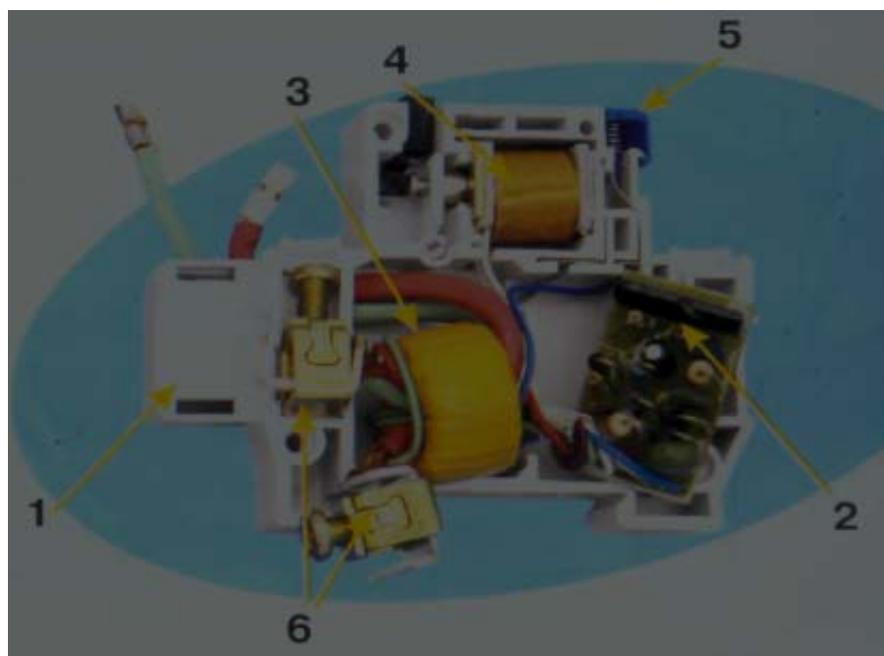


Рис. 5. Внешний вид (а) и внутреннее устройство (б) однофазного УЗО:  
1 – корпус из термостойкой пластмассы; 2 – электронный усилитель;  
3 – дифференциальный трансформатор; 4 – катушка электромагнита сброса;  
5 – кнопка «Тест»; 6 – соединительные зажимы с насечкой для фиксации внешних проводников

Для сантехкабин, ванн и душевых рекомендуется устанавливать УЗО на ток срабатывания до 10 мА, если на них выделена отдельная линия. При использовании одной линии для сантехкабины, кухни и коридора допускается применять УЗО на ток срабатывания до 30 мА.

Для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземлённые части, когда величина тока короткого замыкания недостаточна для срабатывания максимальной токовой защиты, рекомендуется установка УЗО на ток срабатывания до 300 мА.

При выборе проводников следует учитывать возможность их присоединения к УЗО, так как многие импортные УЗО допускают подключение только медных проводников.

Применяемые типы УЗО функционально должны предусматривать возможность проверки их работоспособности.

Во всех случаях УЗО должно обеспечивать надёжную коммутацию цепей нагрузки с учётом возможных перегрузок.

## **5 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

На лабораторном стенде размещены три типа УЗО: по напряжению на корпусе электроприемника (рис. 1), УЗО по току утечки (рис. 2, 3), ЗОУП-25 (рис. 4).

В УЗО по напряжению на корпусе электроприемника (рис. 1) от ЛАТРа, расположенного на пульте стенда, к схеме подводится регулируемое напряжение и имитируется однофазное замыкание на корпус электроустановки, вызывающее срабатывание устройства защиты.

С помощью вольтметра, расположенного сверху на пульте стенда, и миллиамперметра, установленного в нижней части стенда, определяется имитируемое на корпусе электроустановки напряжение  $U_k$  и ток однофазного замыкания  $I_3$ .

Подобным способом имитируется аварийная ситуация и производится измерение тока утечки  $I_y$  при исследовании ЗОУП-25.

## 5.1 Подготовка к эксперименту

1. Усвоить общие положения, изучить схемы и работу УЗО, приведенных на рис. 1– 4.
2. Ознакомиться с оборудованием лабораторного стенда. Подготовить табл. 2.
3. Для безопасной работы на стенде необходимо строго следовать методическим указаниям. Максимальное напряжение, снимаемое с ЛАТРа, не должно превышать 160 В.
4. Изучить работу устройства защитного отключения по напряжению на корпусе электроприемника (рис. 1).

## 5.2 Проведение эксперимента

1. Подать напряжение на стенд. Для этого автоматический выключатель СЕТЬ перевести в верхнее положение.
2. Поставить регулятор напряжения ЛАТРа в крайнее положение против часовой стрелки.
3. Переключить «33 и 3 – ЛАТР» (слева на пульте стенда) поставить «ЛАТР-ВКД».
4. Подать напряжение на ЛАТР, поставив переключатель «ЛАТР – ВКЛ».
5. Удостовериться в исправности УЗО (расположенного на стенде у стены) путем нажатия кнопок ПУСК и КОНТРОЛЬ, которые находятся на корпусе устройства. Прибор защиты должен сработать и отключить установку.
6. Произвести имитацию аварийного режима и снять характеристику срабатывания:
  - нажать кнопку ПУСК на корпусе УЗО (при этом на стенде загорается лампочка  $M1$ , сигнализирующая о том, что напряжение подано потребителю);
  - с помощью ЛАТРа задать значения напряжения на корпусе  $U_k$ , до момента срабатывания УЗО. Полученные данные занести в табл. 2.
  - сделать выводы об эффективности защиты.

## Результаты экспериментальных исследований

№ опытов	УЗО по напряжению на корпусе		УЗО по току утечки	
	$U_k, В$	Срабат. защиты (+; -)	$I_y, мА$	Срабат. защиты (+; -)
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

7. Исследовать работу устройства защитного отключения по току утечки (рис. 4):

- выполнить операции, аналогичные пунктам 1–4;
- удостовериться в работоспособности ЗОУП-25 путем нажатия кнопок ПУСК, а затем КОНТРОЛЬ, расположенных на корпусе прибора. ЗОУП-25 должен сработать и отключить установку.

8. Произвести имитацию аварийного режима и снять характеристику срабатывания:

- нажать кнопку ПУСК на корпусе ЗОУП-25 (при этом на стенде загорается лампочка МЗ, сигнализирующая о том, что напряжение подано потребителю);
- с помощью ЛАТРа увеличивать значения тока утечки  $I_y$  до момента срабатывания УЗО. Полученные данные занести в табл. 2.

### 6 Контрольные вопросы

1. Дайте определение и поясните принцип защитного отключения.
2. Укажите преимущества защитного отключения перед другими видами защит.
3. В каких случаях целесообразно применять устройства защитного отключения?
4. Перечислите наиболее распространенные типы УЗО.

5. Поясните принцип действия УЗО по напряжению на корпусе электроприемника.
6. Когда и как производится проверка работоспособности УЗО?
7. Укажите недостатки УЗО по напряжению на корпусе электроприемника.
8. Поясните принцип действия УЗО по току утечки с нулевым и защитным проводами.
9. Поясните особенности и укажите преимущества УЗО по току утечки.
10. Поясните принцип действия и особенности работы ЗОУП-25.
11. Укажите преимущества и недостатки ЗОУП-25.
12. Сделайте выводы по результатам экспериментальных исследований.

## **7 Содержание отчета**

1. Основные сведения об УЗО и их применении.
2. Схемы УЗО и их работа (рис. 1–4).
3. Результаты экспериментальных исследований (заполненная табл. 2).
4. Выводы по результатам экспериментов и общие выводы по лабораторной работе.

## Литература

1. Федорчук, А.И. Производственная безопасность / А.И. Федорчук. — Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2005.
2. Шкрабак, В.С. Безопасность жизнедеятельности в с.-х. производстве / В.С. Шкрабак, А.В. Луковников, А.К. Турчиев. — Москва: Колос, 2004.
3. Карякин, Р.Н. Заземляющее устройства электроустановок / Р.Н. Карякин. — Москва: Энергосервис, 2002. —С. 377.
4. Лосенков, Д. Устройства защитного отключения: проблемы использования / Д. Лосенков // Охрана труда. —№ 8. 2006. —С. 76–79.
5. ГОСТ 30331.3–95 (МЭК 364-4-41-92). Межгосударственный стандарт. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.

**Термины и определения, используемые в данных методических указаниях**

Система  $TN$  — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена ( $T$ ), а открытые проводящие части электроустановки присоединены к нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников ( $PE$ ), т.е. занулены; система  $TN - C$  — система  $TN$ , в которой нулевой защитный ( $PE$ ) и нулевой рабочий ( $N$ ) проводники совмещены ( $PEN$ ) на всем протяжении; система  $TN - C - S$  — система  $TN$ , в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в какой-то части проводника, начиная от источника питания;  $TN - S$  — система  $TN$ , в которой проводники  $PE$  и  $N$  разделены на всем протяжении (пятипроводная система); система  $IT$  — система, в которой нейтраль источника питания изолирована ( $I$ ), а открытые проводящие части электроустановки заземлены ( $T$ ); система  $TT$  — система, в которой нейтраль источника глухо заземлена, открытые проводящие части также заземлены.

Открытая проводящая часть — доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении изоляции; сторонняя проводящая часть — проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.

Сверхток — ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электроустановки.

Уравнивание потенциалов — электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства потенциалов.