

А.Б. Лоскутов, А.И. Гардин, А.В. Гурьев, А.А. Петров

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Методические указания



2007

Составители: А.Б. Лоскутов, А.И. Гардин, А.В. Гурьев, А.А. Петров.

УДК 621.316.57

Изучение устройств защитного отключения: Методические указания к лабораторной работе № 8 по курсу "Электрические аппараты" для студентов спец. 10.04 / Нижегородский технический университет; Сост.: А.Б. Лоскутов, А.И. Гардин, В.А. Гурьев, А.А. Петров. Н.Новгород, 2007.- 36 с.

В работе изучаются назначение, принцип действия, конструктивное исполнение и характеристики устройств защитного отключения. Приведены методические указания по выполнению работы и контрольные вопросы для самопроверки. В приложении приведена классификация электрических сетей, а также схемы подключения нагрузки через устройства защитного отключения в системах электроснабжения с различными видами заземления нейтрали источников и корпусов электроприемников.

Научн. редактор: Г.Я. Вагин

Редактор: И.И. Морозова

Содержание

1.	Цель работы	3
2.	Общие положения	3
3.	Виды УЗО	5
4.	Нормируемые технические параметры УЗО	11
5.	Защитные характеристики УЗО	13
6.	Технические требования	16
7.	Маркировка и специальные обозначения	17
8.	Задание к лабораторной работе	18
9.	Содержание отчета	19
10.	Контрольные вопросы	20
11.	Список литературы	20
	Приложение 1: Классификация электрических сетей	21
	Приложение 2: Применение УЗО в электроустановках различных систем заземления	24

1. Цель работы

Изучить:

- а) конструкцию и принцип действия устройств защитного отключения;
- б) виды и типы устройств защитного отключения;
- в) технические параметры устройств защитного отключения;
- г) маркировку и условное графическое обозначение устройств защитного отключения в электрических схемах;
- д) особенности применения устройств защитного отключения при различных системах заземления нейтрали источников и корпусов электроприемников.

2. Общие положения

Устройства защитного отключения (УЗО) – электрические аппараты, автоматически отключающие от сети контролируемую установку в случае возникновения в ней тока утечки и предназначенные для защиты человека от поражения электрическим током в случае прикосновения к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, оказавшемуся под напряжением, а также для предотвращения возгорания, возникающего вследствие длительного протекания токов утечки и развивающихся из них токов короткого замыкания.

УЗО реагирует на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке, поэтому в абсолютном большинстве УЗО, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока используется дифференциальный трансформатор тока 1 (рис. 1).

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока (тока утечки), в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока 1, протекают рабочие токи нагрузки I_1 и I_2 , равные между собой по модулю, но векторно противоположно направленные. Данные токи наводят в магнитном сердечнике встречные магнитные потоки. Результирующий магнитный поток при работе в нормальном режиме равен нулю, следовательно, ток во вторичной обмотке также равен нулю. Вся система находится в состоянии покоя.

При пробое изоляции на корпус электроприемника и в случае прикосновения человека к открытым токопроводящим частям (или к корпусу электроприемника, оказавшемуся под напряжением) по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток - ток утечки ($I_{\Delta} = I_{\Delta 1} + I_{\Delta 2}$), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

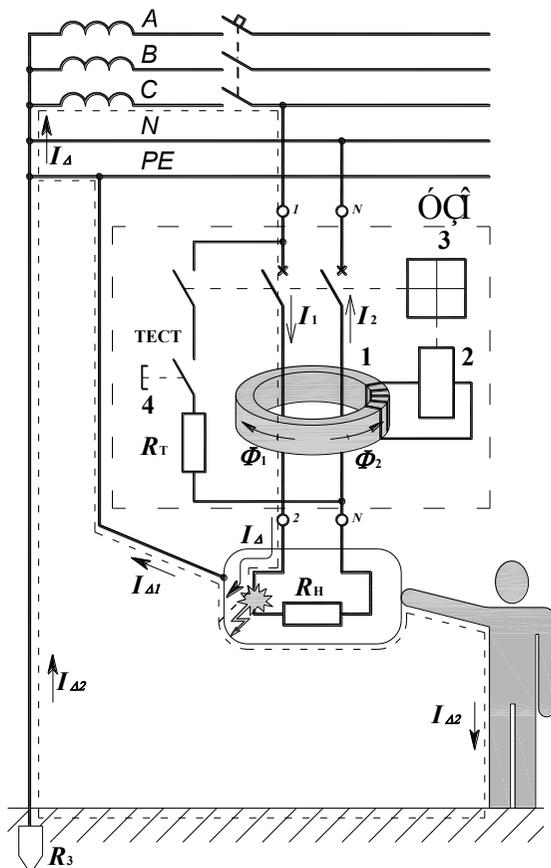


Рис.1 Принцип действия УЗО

Неравенство токов в первичных обмотках (в фазном проводнике протекает ток $I_1 + I_{\Delta}$, в нейтральном проводнике I_2 , равный I_1) вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

Пусковой орган (пороговый элемент) 2 выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия (электромагнитное УЗО) или электронных компонентах (электронное УЗО).

Исполнительный механизм 3, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки "Тест" искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно исправно. Включение в цепь тестирования замыкающего вспомогательного контакта УЗО предотвращает попадание напряжения на электроустановку при случайном нажатии на кнопку «Тест» в случае нахождения главных контактов в разомкнутом состоянии.

Особенности конструкции современных УЗО:

- 1) использование специального материала сердечника трансформатора тока – ленточного пермаллоя со строго регламентированными магнитными характеристиками;
- 2) наличие чувствительного элемента;
- 3) применение высоконадежного механического расцепителя с мощной контактной группой и механизма взвода отключающих пружин с индикатором положения;
- 4) применение термически стойкого контрольного резистора.

3. Виды УЗО

3.1 Классификация УЗО

По техническому исполнению существуют различные виды УЗО, ниже приведена примерная их классификация.

1) По назначению:

а) УЗО без встроенной защиты от токов перегрузки и короткого замыкания (сверхтоков) - дифференциальные выключатели. Они должны включаться последовательно с автоматическим выключателем, номинальный ток расцепителей которого рекомендуется выбирать на ступень ниже номинального тока УЗО (рис. 2а,г).

б) УЗО со встроенной защитой от сверхтоков (комбинированные УЗО – дифференциальные автоматы). Они различаются по характеристике мгновенного расцепления (тип В, тип С, тип D).

Конструктивной особенностью этих УЗО является то, что механизм размыкания силовых контактов (механизм свободного расцепления) запускается при воздействии на него любого из трех элементов — катушки с сердечником токовой отсечки, реагирующей на ток короткого замыкания, биметаллической пластины, реагирующей на токи перегрузки и магнитоэлектрического расцепителя, реагирующего на дифференциальный ток (рис. 2б,в).

2) По способу управления:

а) УЗО, функционально не зависящие от напряжения в электрической сети (электромеханические). Для этих УЗО источником энергии,

необходимой для выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам сигнал – дифференциальный ток (рис. 2а,б).

б) УЗО, функционально зависящие от напряжения (электронные), т.к. напряжение подается для питания электронной схемы. (рис. 2в,г).

Электронные УЗО подразделяются:

- устройства, автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения с выдержкой времени или без нее.
- устройства, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения. Имеются также два варианта исполнения устройств этой группы. В одном варианте при исчезновении напряжения устройство не размыкает свои контакты, но сохраняет способность разомкнуть силовую цепь при возникновении дифференциального тока (присутствует независимый источник питания). Во втором варианте, при отсутствии напряжения, устройства неспособны произвести отключение при возникновении дифференциального тока, и это является недостатком данного типа УЗО.

Внимание! Механизм электронного УЗО для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

3) По типу:

- АС – реагирует на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно либо медленно возрастающий;
- А – реагирует на внезапный либо медленно возрастающий переменный синусоидальный дифференциальный ток, и пульсирующий постоянный дифференциальный ток;
- В – реагирует на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальный токи;
- S – селективное устройство (имеет выдержку времени на отключение);
- G – то же, что и S, но с меньшей выдержкой времени.

4) По числу полюсов и токовых путей:

- двухполюсные, защищающие две электрические цепи;
- четырехполюсные, защищающие четыре электрические цепи.

5) По условиям регулирования отключающего дифференциального тока:

- УЗО с одним значением номинального отключающего дифференциального тока;
- УЗО с несколькими фиксированными значениями отключающего дифференциального тока.

6) По способу установки:

- УЗО, применяемые для стационарной установки при неподвижной электропроводке;

- УЗО, используемые для подвижной установки (переносные) и шнурового присоединения.
- 7) По способу защиты от внешних воздействий:
- УЗО защищенного исполнения, не требующие для своей эксплуатации защитной оболочки;
 - УЗО незащищенного исполнения, для эксплуатации которых необходима защитная оболочка.
- 8) По способу монтажа:
- УЗО поверхностного монтажа;
 - УЗО утопленного монтажа;
 - УЗО панельно-щитового монтажа.

3.2 Структура условного обозначения УЗО

В настоящее время единого стандарта в обозначениях данных устройств нет, поэтому каждый производитель придерживается своего обозначения. Наиболее часто применяется следующая структура условного обозначения:

$$\begin{aligned} & \text{УЗО } \text{XX}_1 - \text{X}_2 - \text{XX}_3 / \text{XX}_4 \\ & \text{ВД1 } 63 / \text{X}_2 / \text{XX}_3 / \text{XX}_4 \\ & \text{АД } \text{XX}_1 - \text{X}_2 - \text{XX}_3 / \text{XX}_4 \end{aligned}$$

УЗО	-	устройство защитного отключения;
ВД1	-	выключатель дифференциальный
АД	-	дифференциальный автомат;
XX ₁	-	номер разработки;
X ₂	-	количество полюсов;
XX ₃	-	номинальный ток нагрузки I _n , А;
XX ₄	-	номинальный отключающий дифференциальный ток I _{Δn} , mA.

3.3 Принципиальные электрические схемы подключения электроприемников посредством УЗО

На рисунке 2 изображены некоторые варианты подключения электроприемников посредством УЗО в многолинейном исполнении.

На рисунке 2а показано подключение однофазного электроприемника посредством двухполюсного электромеханического УЗО без встроенной защиты от сверхтоков — дифференциального выключателя (*QD*). Контур электрической цепи дополнительно защищен однополюсным автоматическим выключателем (*QF*).

На рисунке 2б показано подключение трехфазного электроприемника посредством четырехполюсного электромеханического УЗО со встроенной защитой от сверхтоков — дифференциального автомата (*QFD*). Все контуры трехфазной электрической цепи защищены этим аппаратом.

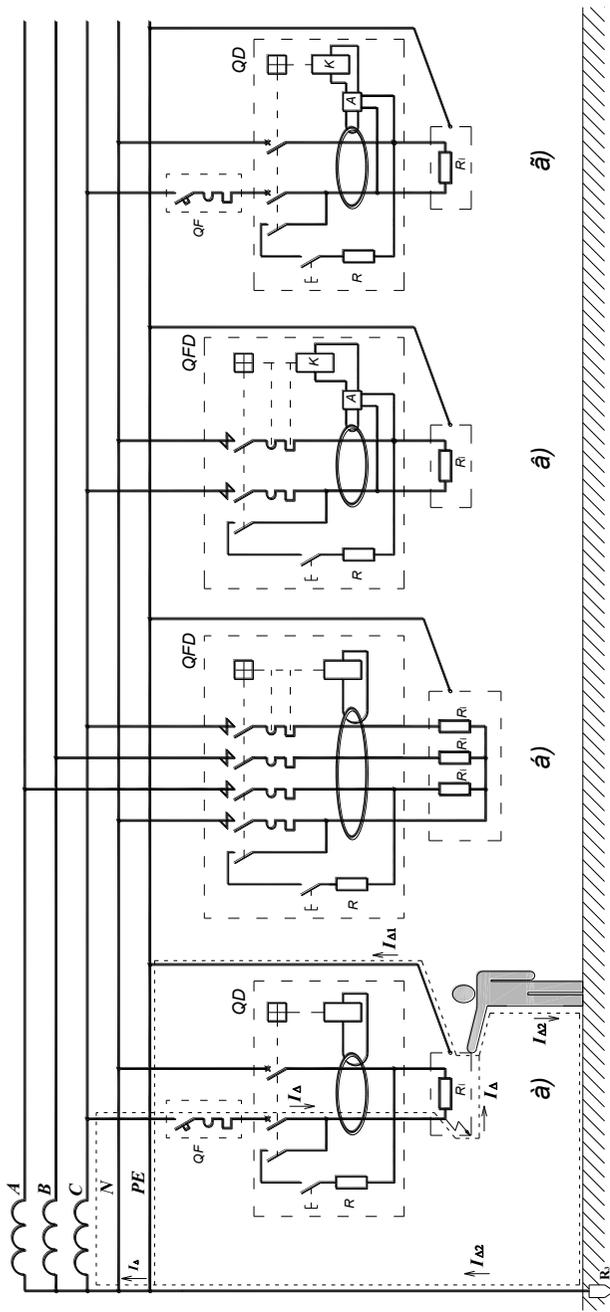


Рис. 2. Схема подключения электроприемников посредством УЗО.

- а, в, г – двухполюсное исполнение УЗО; б – четырехполюсное исполнение УЗО
- а, г – не имеют встроенной защиты от сверхтоков (дифференциальные автоматы); б, в – имеют встроенную защиту от сверхтоков (дифференциальные автоматы)
- а, б – электромеханическое УЗО; в, г – электронное УЗО

На рисунке 2в показано подключение однофазного электроприемника посредством двухполюсного электронного УЗО со встроенной защитой от сверхтоков — дифференциального автомата (*QFD*). Контур электрической цепи защищен этим аппаратом.

На рисунке 2г показано подключение однофазного электроприемника посредством двухполюсного электронного УЗО без встроенной защиты от сверхтоков — дифференциального выключателя (*QD*). Контур электрической цепи дополнительно защищен однополюсным автоматическим выключателем (*QF*).

На рисунке 3 показаны те же варианты подключения электроприемников посредством УЗО, но в однолинейном исполнении.

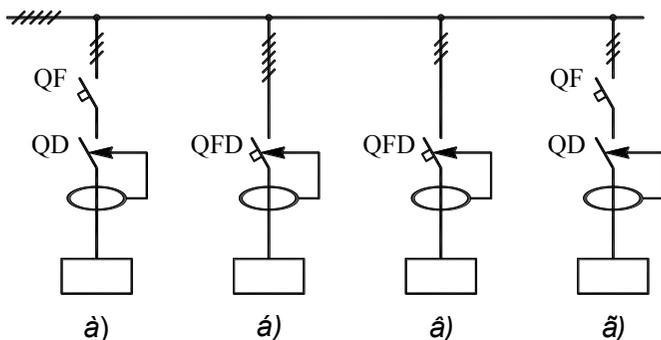


Рис. 3. Однолинейная схема подключения электроприемников посредством УЗО.

а, в, г — двухполюсное исполнение УЗО; б — четырехполюсное исполнение УЗО

а, г — не имеют встроенной защиты от сверхтоков (дифференциальные выключатели); б, в — имеют встроенную защиту от сверхтоков (дифференциальные автоматы)

а, б — электромеханическое УЗО; в, г — электронное УЗО

В однолинейном исполнении графическое изображение схем 2а и 2г (см. рис. 3а, 3г) одинаково, но в случае 2а (3а) используется электромеханический дифференциальный выключатель, а в случае 2г (3г) — электронный. Это требует более внимательного изучения технических характеристик, приведенных в спецификации к схеме.

3.4 Достоинства и недостатки электромеханических и электронных УЗО

Достоинства электромеханических УЗО

1. Полная независимость от колебаний и даже наличия напряжения в сети. Сохраняет работоспособность при исчезновении питания — обрыве

нулевого провода или одного из фазных, т.к. источником энергии необходимой для операции отключения является сам дифференциальный ток.

Достоинства электронных УЗО

1. Наиболее простая конструкция механизма отключения.
 - Механизм отечественных электронных УЗО состоит из механизма автоматических выключателей, конструкция которых достаточно хорошо отработана, имеет высокую надежность и низкую стоимость.
 - Механизм расцепителя, управляемого дифференциальным током, в большинстве случаев встроен в выключатель и воздействует на уже существующий механизм размыкания силовых контактов.
 - Электронные элементы установлены на печатных платах, технология производства которых обеспечивает высокую надежность УЗО при работе в самых суровых климатических условиях.
2. Высокая чувствительность к дифференциальному току, простота регулировки и стабильность тока срабатывания. Это обусловлено электронной схемой усиления сигнала, поступающего с вторичной обмотки измерительного дифференциального трансформатора, и сравнения его с эталонным сигналом, имеющим высокую стабильность. В связи с этим электронные УЗО могут быть выполнены с любым требуемым значением номинального отключающего дифференциального тока, и иметь при этом практически одинаковую стоимость.
3. Получение любых требуемых характеристик.
 - Без увеличения стоимости могут иметь тип А по условиям функционирования при наличии постоянной составляющей в дифференциальном токе.
 - При умеренном увеличении стоимости могут иметь исполнения с выдержкой времени - тип S для обеспечения селективности.
 - Выполняют ряд дополнительных функций - защиту от временных перенапряжений, защиту от грозовых импульсных напряжений, защиту от повышенной температуры, световую сигнализацию о включенном состоянии и о наличии напряжения в питающей сети, дистанционное управление отключением и т.п.

Недостатки электромеханических УЗО

1. Сложная конструкция устройства, выполненная на основе чувствительного магнитоэлектрического реле прямого действия. К механизму выключателя, имеющему специальное исполнение, вместо печатной платы ставится реле с постоянным магнитом, воздействующим на механизм выключателя, и механизм взвода этого реле.

2. Функцию измерения и сравнения дифференциального тока выполняет реле, повышение чувствительности которого, значительно повышает стоимость устройства.
 - Ток срабатывания имеет большой разброс от одного образца к другому и существенно изменяется по мере старения.
 - Зависимость тока срабатывания от воздействия магнитных полей в месте размещения УЗО и от температуры окружающего воздуха.
3. Выполнение требований, предъявляемых к УЗО типа А и типа S, приводит к значительному увеличению их стоимости. Дополнительные функции, как правило, отсутствуют, что связано с усложнением конструкции, чрезмерным удорожанием УЗО и дальнейшим снижением их надежности.

Недостатки электронных УЗО

1. Зависимость работы от напряжения сети, понижающегося или совсем пропадающего при некоторых авариях в защищаемой электросети.
При этом:
 - Не функционирует электронный усилитель.
 - Отсутствует энергия, необходимая для срабатывания автоматического выключателя.

Таким образом, в случае обрыва нулевого проводника до места установки УЗО (или фазного проводника, от которого запитан электронный усилитель) устройство неработоспособно и не защищает контролируемую цепь. Существует опасность поражения человека электрическим током, так как по фазному проводнику через замкнутые контакты УЗО в электроустановку выносятся потенциал (то есть, в электроустановке присутствует напряжение относительно земли). Для исключения этого недостатка требуется установка дополнительного устройства контроля напряжения, отключающее УЗО при исчезновении напряжения между фазным и нулевым проводником.

4. Нормируемые технические параметры УЗО

В настоящее время параметры УЗО нормируются следующими стандартами: ГОСТ Р 50807-95, ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99.

Номинальное напряжение U_n – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

$$U_n = 220, 380 \text{ В}$$

Номинальный ток I_n – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

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

Номинальная частота f_n – промышленная частота, на которую рассчитано УЗО и которой соответствуют значения других характеристик. Существуют и специальные УЗО, рассчитанные на определенный диапазон частот, например: 16–60 Гц, 150–400 Гц.

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ – значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta n} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5A$$

Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta nO}$ – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta nO} = 0,5 \cdot I_{\Delta n}$$

Предельное значение неотключающего сверхтока I_{nm} – минимальное значение неотключающего сверхтока, т.е. способность не реагировать на несимметричные режимы нагрузки.

$$I_{nm} = 6 \cdot I_n$$

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:

$$I_m = 10 \cdot I_n \text{ или } 500A \text{ (выбирается большее значение).}$$

Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta m}$ – 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:

$$I_{\Delta m} = 10 \cdot I_n \text{ или } 500A \text{ (выбирается большее значение).}$$

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.

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

Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{\Delta c}$ – 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.

$$I_{\Delta c} = 3000; 4500; 6000; 10\ 000\text{А}$$

Номинальное время отключения T_n – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах.

5. Защитные характеристики УЗО

5.1 Дифференциальный выключатель

Защитной характеристикой УЗО называют зависимость времени отключения от кратности дифференциального тока (отношение реально существующего дифференциального тока в электрической цепи к номинальному отключающему дифференциальному току).

На рис. 4 изображена защитная характеристика дифференциального выключателя, анализ которой позволяет сделать следующие заключения:

- характеристика ограничена слева значением номинального неотключающего дифференциального тока, равного половине номинального отключающего дифференциального тока.
- В диапазоне кратности тока от 0,5 до 1, время отключения УЗО не превышает 0,3с.
- В диапазоне кратности дифференциального тока выше единицы, время срабатывания УЗО составляет от 0,1 до 0,01с, уменьшаясь при увеличении кратности дифференциального тока.

Паспортная защитная характеристика используется для построения реальной защитной характеристики конкретного образца УЗО при оценке селективности защит нескольких УЗО, применяемых в электроустановках здания. В случае использования селективного УЗО данная характеристика будет поднята на величину заданной ступени селективности.

Реальная характеристика строится на бланке селективности следующим образом: время срабатывания УЗО берется из паспортной характеристики без изменения, кратность дифференциального тока переводится в именованные единицы тока, используя формулу: $I_{\Delta} = K \cdot I_{\Delta n}$.

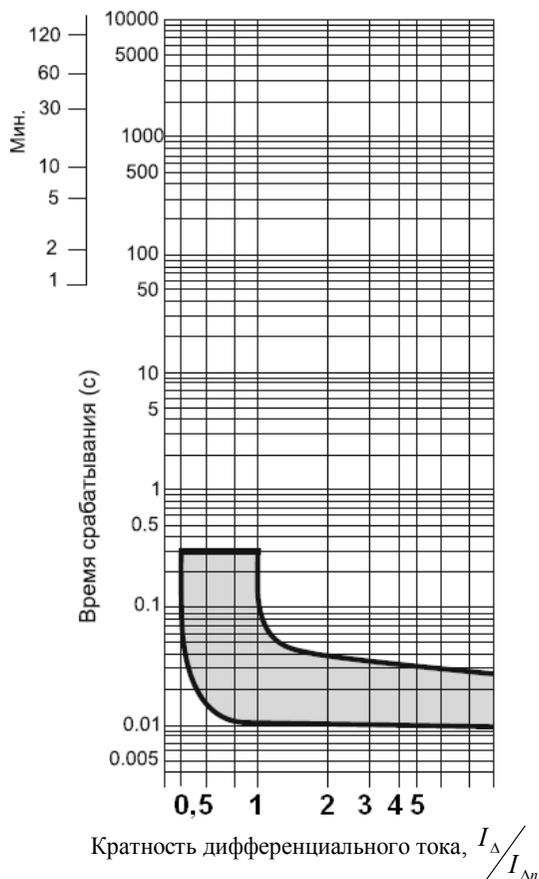


Рис. 4 Время-токовые защитные характеристики УЗО вида – дифференциальный выключатель

5.2 Дифференциальный автомат

Защитная характеристика дифференциального автомата приведена на рис. 5 и разделена на две области: первая область аналогична защитной характеристике дифференциального выключателя, вторая область включает в себя две защитные характеристики: продолжение защитной характеристики дифференциального выключателя, встроенного в корпус дифференциального автомата и защитной характеристики теплового и электромагнитного расцепителя. Допустимость продолжения данной характеристики обусловлена тем, что ток однофазного короткого замыкания на корпус, является полностью дифференциальным.

Реальную защитную характеристику дифференциального автомата целесообразно строить на двух бланках селективности: при оценке селективности защит нескольких УЗО, применяемых в электроустановках здания и при оценке селективности защит от токов короткого замыкания и перегрузки.

Реальные характеристики дифференциального автомата строятся на бланках селективности следующим образом: время срабатывания УЗО берется из паспортной характеристики без изменения, кратность дифференциального тока переводится в именованные единицы тока, используя формулу: $I_{\Delta} = K \cdot I_{\Delta n}$, кратность тока нагрузки переводится в именованные единицы, используя формулу: $I_H = K \cdot I_H$

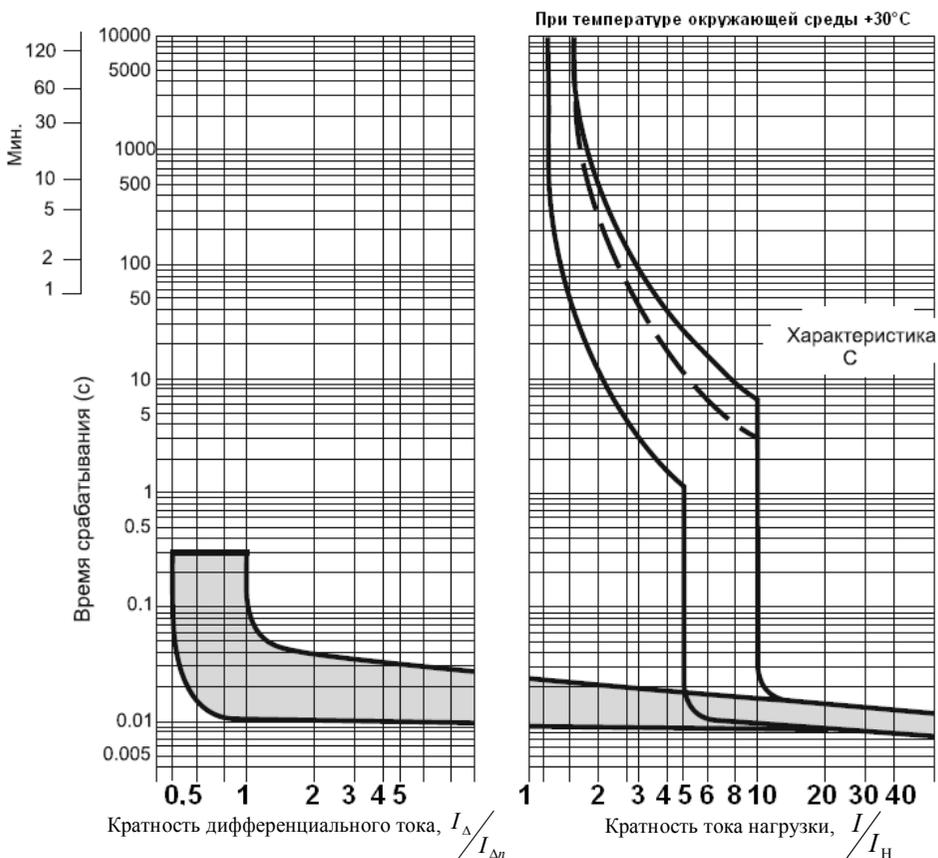


Рис. 5 Время-токовые защитные характеристики УЗО вида – дифференциальный автомат

6. Технические требования

Режим работы устройства – непрерывный, продолжительный.

1. УЗО должно отключать защищаемый участок сети при появлении в нем тока утечки в диапазоне величин от половины номинального дифференциального тока ($0,5 \cdot I_{\Delta n}$) до величины, равной номинальной включающей и отключающей способности по дифференциальному току ($I_{\Delta n}$).
2. УЗО, функционально не зависящее от напряжения питания, не должно срабатывать при снятии и повторном включении напряжения сети.
3. УЗО не должно производить автоматическое повторное включение.
4. УЗО, функционально не зависящее от напряжения питания, не должно зависеть от наличия напряжения в контролируемой сети и обязано сохранять работоспособность при обрыве нулевого или фазного проводов.
5. УЗО должно срабатывать при нажатии кнопки "Тест".
6. Работоспособность контрольного эксплуатационного устройства (кнопка "Тест") должна сохраняться при снижении напряжения сети до значения $0,85 U_n$.
7. Конструкция контрольного эксплуатационного устройства должна исключать возможность попадания сетевого напряжения в цепь, подключенную к выходным выводам УЗО при нажатии кнопки "Тест" когда УЗО находится в разомкнутом состоянии. Это означает, что тестовая цепь должна быть подключена к входному выводу УЗО через контакт, сблокированный с силовой контактной группой (вспомогательный контакт).
8. УЗО должно быть защищено от токов короткого замыкания последовательно включенным с ним защитным устройством: автоматическим выключателем или предохранителем, номинальный ток которых (номинальный ток расцепителя или ток плавкой вставки) не должен превышать номинальный рабочий ток УЗО.
9. УЗО не должно срабатывать при бросках тока на землю, вызванных включением емкостной нагрузки. Испытания УЗО по этому параметру проводятся импульсом тока с пиковым значением 200А с длительностью фронта 0,5 мкс.
10. УЗО должно быть стойким к импульсам перенапряжений.

Испытания проводятся:

- приложением к фазному и нейтральному (для 4-полюсных УЗО – фазным, соединенным вместе и нейтральному) выводам УЗО

пакета импульсного напряжения 6 кВ длительностью не менее 10с;

- приложением к токоведущим частям и основанию УЗО (УЗО закрепляется на металлическом основании) пакета импульсного напряжения 8 кВ длительностью не менее 10с.

Импульсное напряжение получают при помощи генератора, дающего положительные и отрицательные импульсы длительностью фронта 1,2 мкс.

11. Сопротивление изоляции электрических цепей УЗО в нормальных климатических условиях должно быть не менее 10 МОм.
12. Изоляция электрических цепей УЗО должна выдерживать в течение 1 мин без пробоя и поверхностного перекрытия воздействие испытательного напряжения 2200В (действующее значение) переменного тока частотой 50 Гц.

Согласно ГОСТ Р 51326.1-99 изготовитель должен гарантировать надежную работу УЗО в течение не менее 5 лет с момента ввода в эксплуатацию.

7. Маркировка и специальные обозначения

На каждом УЗО должна быть стойкая маркировка с указанием всех или, при малых размерах, части следующих данных.

1. Наименование или торговый знак (марка) изготовителя;
2. Обозначение типа, номера по каталогу или номера серии;
3. Номинальное напряжение U_n ;
4. Номинальная частота, если УЗО разработано для частоты, отличной от 50 и (или) 60 Гц;
5. Номинальный ток нагрузки I_n ;
6. Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$;
7. Номинальная включающая и отключающая коммутационная способность I_m ;
8. Номинальный условный ток короткого замыкания I_{nc} ;
9. Степень защиты (только в случае ее отличия от IP20);
10. Символ [S] для устройств типа S, [G] для устройств типа G;
11. Указание, что УЗО функционально зависит от напряжения сети, если это имеет место (электронные УЗО);
12. Обозначение органа управления контрольным устройством - кнопки "Тест" - буквой T;
13. Схема подключения;
14. Тип дифференциального тока, на который реагирует УЗО:

АС – символ , А – символ 

Выводы, предназначенные исключительно для соединения цепи нулевого рабочего проводника, должны быть обозначены буквой "N".

Стандартные значения температуры окружающей среды (-5-40°C) могут не указываться. Диапазон температур (-25-40°C) обозначается символом 

8. Задание к лабораторной работе

1. Выполнить проверку работоспособности устройства защитного отключения.
2. Определить значение дифференциального тока, при котором произойдет отключение УЗО.
3. Выполнить индивидуальное задание по варианту, указанному преподавателем согласно приложению 3.

Примечание. Для выполнения п.2 заданий необходимо иметь следующие приборы:

- миллиамперметр переменного тока (0÷300мА);
- переменный резистор (магазин сопротивлений) от 0,75 до 43кОм с определенной мощностью, рассчитанной по формуле:

$$P = (I_{\Delta n})^2 \cdot R,$$

где P – мощность переменного резистора;

$I_{\Delta n}$ – номинальный отключающий дифференциальный ток испытываемого УЗО;

R – максимальное значение переменного резистора.

Ход выполнения лабораторной работы

1) Отключить от выходных клемм УЗО цепь нагрузки при ее наличии (это необходимо для того, чтобы избежать влияния токов утечки с нагрузки). Проверить работоспособность устройства нажатием кнопки «Тест».

2) Подключить с помощью гибких проводников к указанным на схеме клеммам УЗО измерительную цепь с переменным резистором и миллиамперметром (рис.6). Переменный резистор должен находиться в положении максимального сопротивления.

Плавнo снижая сопротивление резистора, зафиксировать показание миллиамперметра в момент срабатывания УЗО.

Зафиксированное значение тока является отключающим дифференциальным током I_{Δ} данного экземпляра УЗО, которое, согласно требованиям стандартов, должно находиться в диапазоне $0,5 \cdot I_{\Delta n} \div I_{\Delta n}$.

В случае если I_{Δ} выходит за границы данного диапазона или устройство не срабатывает при нажатии кнопки «Тест», то оно подлежит замене.

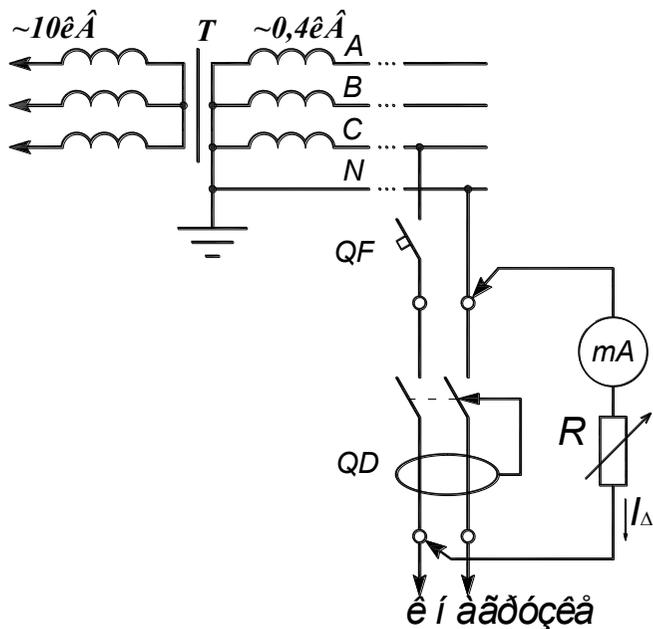


Рис.6 Определение значения отключающего дифференциального тока УЗО

3) Выполнить индивидуальное задание согласно методических указаний, приведенных в приложении 3.

9. Содержание отчета

Отчет выполняется индивидуально каждым студентом и должен содержать:

- описание цели лабораторной работы,
- электрическую схему для определения значения отключающего дифференциального тока,
- результаты испытаний,
- результаты выполнения индивидуального задания по заданному преподавателем варианту.

10. Контрольные вопросы

1. Назначение и область применения УЗО.
2. Принцип действия УЗО.
3. Виды УЗО. Классификация УЗО.
4. Достоинства и недостатки электронных и электромеханических УЗО.
5. Нормируемые технические параметры УЗО.
6. Построение защитной характеристики УЗО.
7. Технические требования к УЗО.
8. Пояснить результаты лабораторных испытаний – проверки работоспособности УЗО.

11. Список литературы

1. Монаков В.К. Устройства защитного отключения (УЗО). Учебно-справочное пособие 2003.-232 с.
2. Монаков В.К. Устройства защитного отключения (УЗО). Теория и практика 2006.-368 с.
3. Харечко В. Н., Харечко Ю. В. Устройства защитного отключения.- МИЭЭ (Московский институт по энергобезопасности и энергосбережению), ООО ПТФ 2004.-199с.
4. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток. Справочное пособие. 2006.-160с.
5. Аппараты защиты электрических цепей. – Каталог: электрическая продукция «Интерэлектрокомплект», (издание 5), 2005
6. Интернет-сайт: www.uzo.ru

Классификация электрических сетей

Системы электрических сетей классифицируются по ГОСТ 505712-94 (МЭК-364-3-93). Для классификации используются две буквы, указывающие характер заземления:

первая буква – указывает характер заземления нейтрали источника;

вторая буква – указывает характер заземления открытых проводящих нетоковедущих частей электроустановок (корпуса).

В обозначении используются начальные буквы французских слов:

T (terre) – заземлено;

N (neutre) – занулено (присоединено к нейтрали источника питания);

I (isole) – изолировано.

Выделяются три системы сетей: ТТ, IT, TN.

- 1) **ТТ** – нейтраль источника и корпуса электроприемников заземлены;

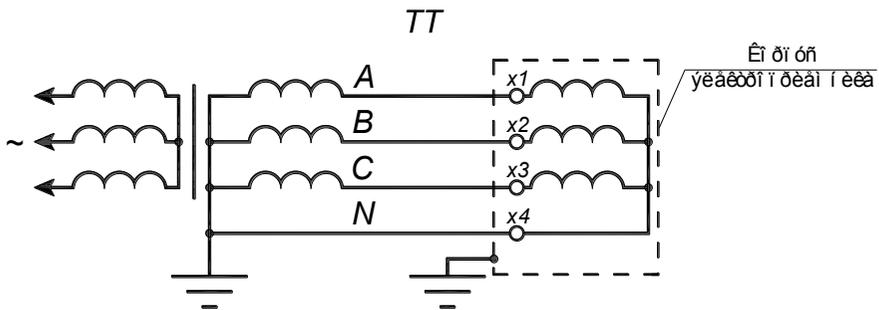


Рис. П.1.1

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 110 кВ и выше.

Примечание. В примерах в качестве источников показаны вторичные обмотки трансформаторов. На практике источниками питания могут служить также обмотки генераторов.

2) **IT** – нейтраль источника изолирована, а корпуса электроприемников заземлены;

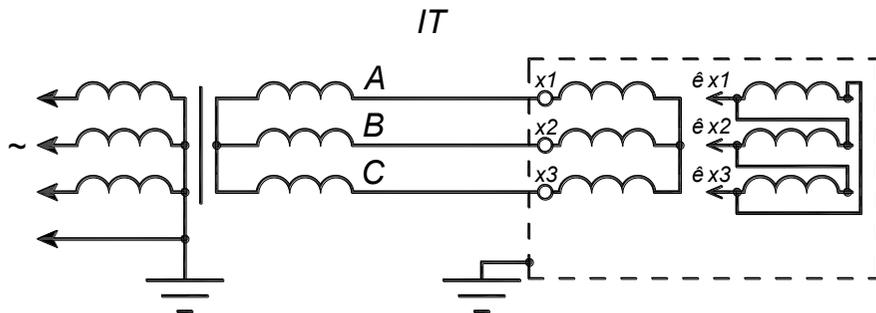


Рис. П.1.2

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 6, 10, 35 кВ.

3) **TN** – нейтраль источника заземлена, а корпуса электроприемников занулены.

Схема TN имеет 3 модификации в зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников.

Схема **TN-C** (common) – функция нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников объединены в одном проводнике, который называется PEN.

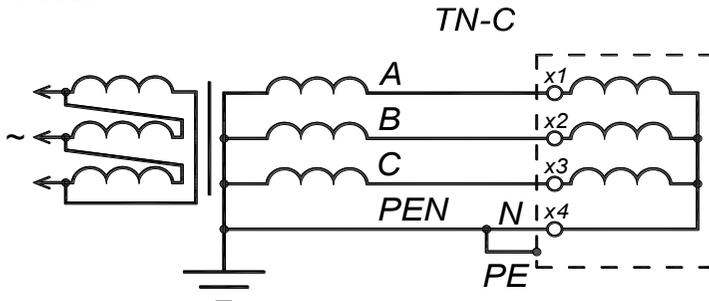


Рис. П.1.3

Схема **TN-S (select)** – функция нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечивается отдельными проводниками, соответственно N и PE.

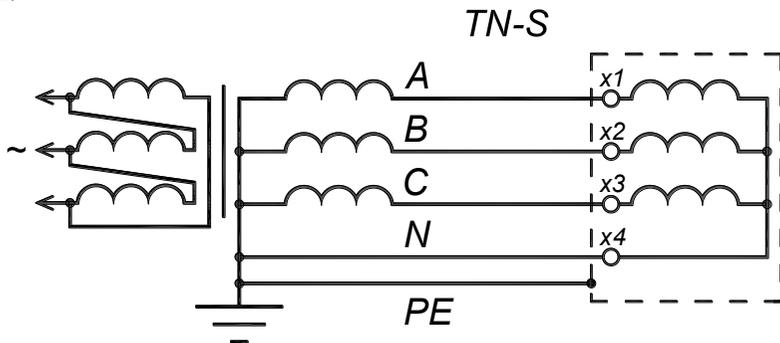


Рис. П.1.4

Схема **TN-C-S** – нулевые проводники на головных участках объединены в проводник PEN, а далее разделены на проводники N и PE.

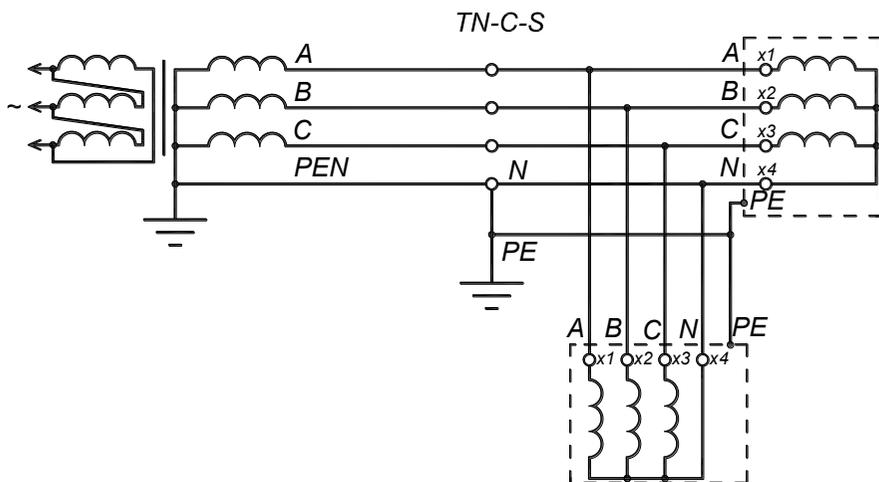


Рис. П.1.5

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 0,4 кВ.

Применение УЗО в электроустановках различных систем заземления

П.2.1 Защита в электроустановках системы ТТ

В системе ТТ все открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлению, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

ГОСТ Р 50669-94 предписывает применение системы ТТ как основной в случае подключения указанных электроустановок к вводно-распределительным устройствам соседнего (капитального) здания.

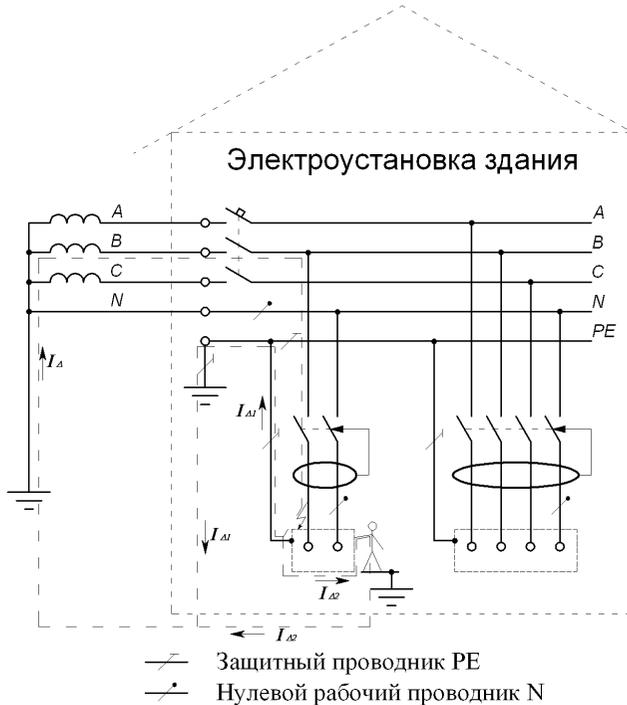


Рис. П.2.1

В стандарте ГОСТ Р 50571.3-94 п. 413.1.4 указано, что в системе ТТ устройства защиты от сверхтока (автоматические выключатели, предохранители) могут использоваться для защиты от косвенного прикосновения только в электроустановках, имеющих заземляющие устройства с очень малым сопротивлением. При этом гарантированное отключение питания электроустановки должно производиться при

появлении на открытых проводящих частях электроустановки напряжения не более 50 В.

В реальных условиях осуществить автоматическое отключение питания электроустановки системы ТТ с помощью автоматических выключателей по ряду причин (необходимости обеспечения большой кратности тока короткого замыкания, низкого сопротивления заземляющего устройства и др.) весьма проблематично. Эффективное решение проблемы автоматического отключения питания дает только применение УЗО.

В п. 1.7.59 ПУЭ (7-е изд.) содержится требование обязательного применения УЗО для обеспечения условий электробезопасности в системе ТТ. При этом уставка (номинальный отключающий дифференциальный ток) должна быть меньше значения тока замыкания на заземленные открытые проводящие части при напряжении на них 50 В относительно зоны нулевого потенциала.

Это означает, что в электроустановках индивидуальных жилых домов, коттеджей, дачных (садовых) домов и других частных сооружений, где не всегда имеется возможность выполнить заземлитель с требуемыми нормами параметрами, необходимо применять систему ТТ с обязательной установкой УЗО. В этом случае требования к значению сопротивления заземлителя значительно снижаются.

Таблица П.2.1

Допустимые значения сопротивления заземления

Сопротивление заземления R_z , Ом	5000	1666	500	166	100
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, мА	10	30	100	300	500

П.2.2 Защита в электроустановках системы TN

Электроустановки системы TN-C

В электроустановках системы TN все открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Основное условие электробезопасности системы TN состоит в том, чтобы значение тока при коротком замыкании между фазным проводником и открытой проводящей частью превышало величину тока срабатывания защитного устройства за нормированное время.

В случае использования в качестве защитного устройства УЗО значение тока короткого замыкания следует заменить на значение номинального отключающего дифференциального тока устройства $I_{\Delta n}$. При этом задача обеспечения низкого значения сопротивления "фаза-ноль", которую надо решать при использовании защиты от свехтока, заменяется на проверку

работоспособности УЗО и защитного проводника. Контроль сопротивления цепи "фаза-ноль" следует производить только на входных зажимах УЗО.

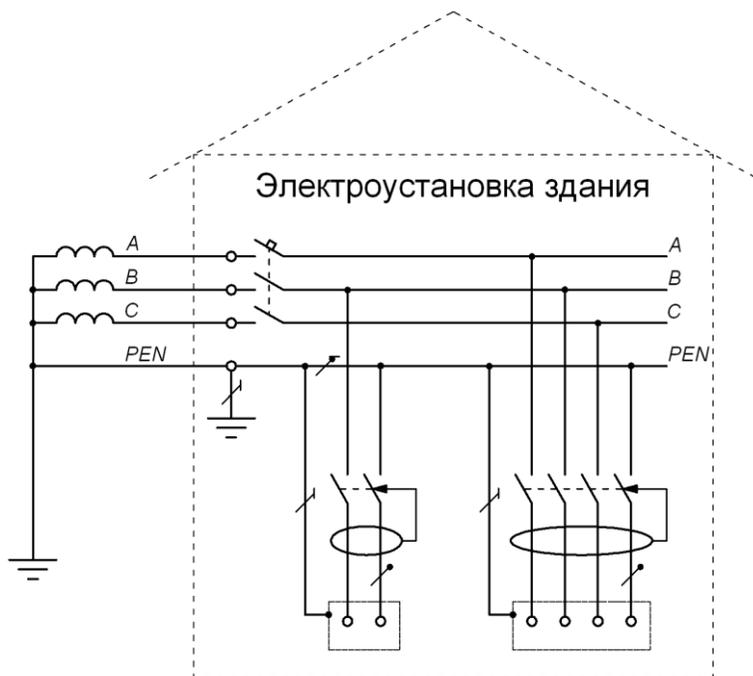


Рис. П.2.2

Самой используемой разновидностью системы TN является система TN-C. В качестве защитного проводника при этом используется проводник PEN, который одновременно выполняет функции рабочего и нулевого защитного проводника.

В ПУЭ 7-го издания имеется указание: "Не допускается применять УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, в четырехпроводных трехфазных цепях (система TN-C). В случае необходимости применения УЗО для защиты отдельных электроприемников, получающих питание от системы TN-C, защитный PE проводник электроприемника должен быть подключен к PEN проводнику цепи, питающей электроприемник, до защитно-коммутационного аппарата".

Это означает, что как исключение для защиты отдельных электроприемников ПУЭ допускают применение УЗО в системе TN-C, при соблюдении определенных условий - подсоединения открытых проводящих частей электроприемников к PEN-проводнику со стороны источника питания по отношению к УЗО.

Электроустановки системы TN-S

Более современной и в большинстве случаев более безопасной является система TN-S, где используется самостоятельный нулевой защитный проводник PE и нулевой рабочий проводник N, которые прокладываются отдельно, начиная от вывода источника питания. Эта система уже долгое время используется в телекоммуникационных сетях (при этом исключаются помехи в слаботочных сетях, образующиеся при протекании части рабочего тока в земле в сети системы TN-C). Применение УЗО обязательно, кроме оговоренных особых случаев (например, цепи питания пожарной сигнализации).

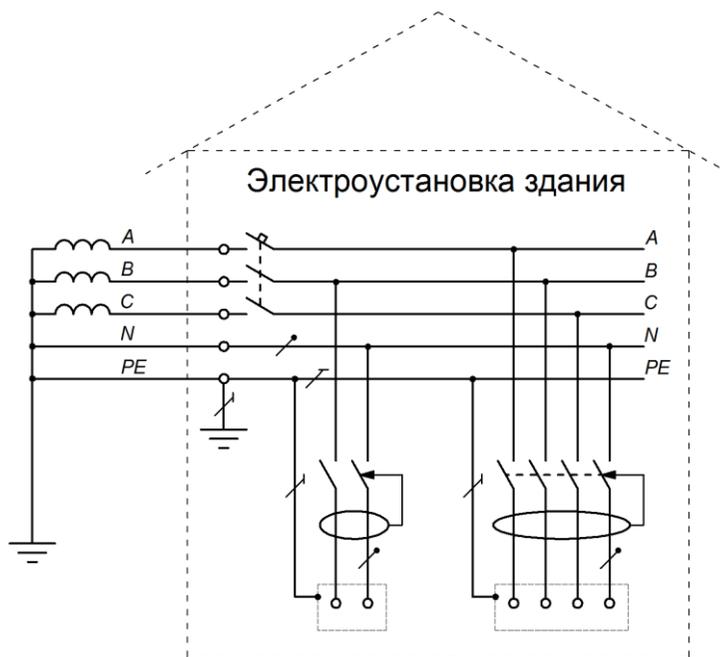


Рис. П.2.3

Электроустановки системы TN-C-S

При разделении, например в групповом щитке, в электроустановке системы TN проводника PEN на отдельные проводники PE и N образуется система TN-C-S. При этом, как в сети системы TN-S, проводники PE и N должны прокладываться отдельно, а их соединение после точки раздела недопустимо. Данная система в настоящее время - основная, которую можно выполнить в отдельной части электроустановки при проведении реконструкции.

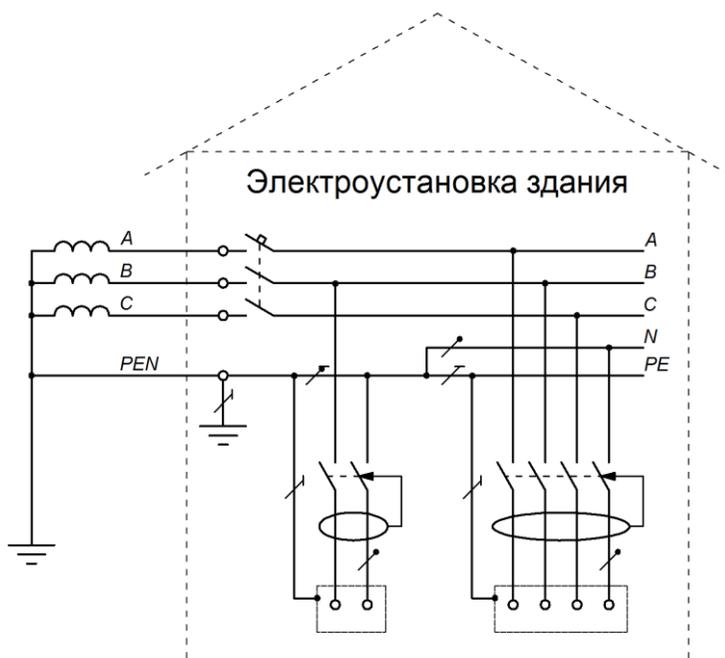


Рис. П.2.4

П.2.3 Защита в электроустановках системы IT

В электроустановках системы IT источник питания должен быть изолирован от земли или связан с ней посредством подключения к нейтрали достаточно большого сопротивления. В сети имеется определенное активное сопротивление и емкость по отношению к земле, которые представляют собой путь для тока утечки или тока замыкания на землю.

В системе IT значение тока замыкания на землю определяется состоянием изоляции сети относительно земли. При хорошем состоянии изоляции (высоком сопротивлении относительно земли) ток замыкания на землю очень мал. В случае прямого прикосновения человека к токоведущим частям электроустановки ток через тело человека также определяется сопротивлением изоляции и при сопротивлении изоляции выше определенного значения не представляет опасности для жизни. Таким образом, уровень сопротивления изоляции является в системе IT фактором, определяющим как надежность, так и электробезопасность ее эксплуатации, поэтому очень важно поддерживать сопротивление изоляции на высоком уровне, а ведение автоматического постоянного контроля изоляции должно быть обязательным электротехническим мероприятием.

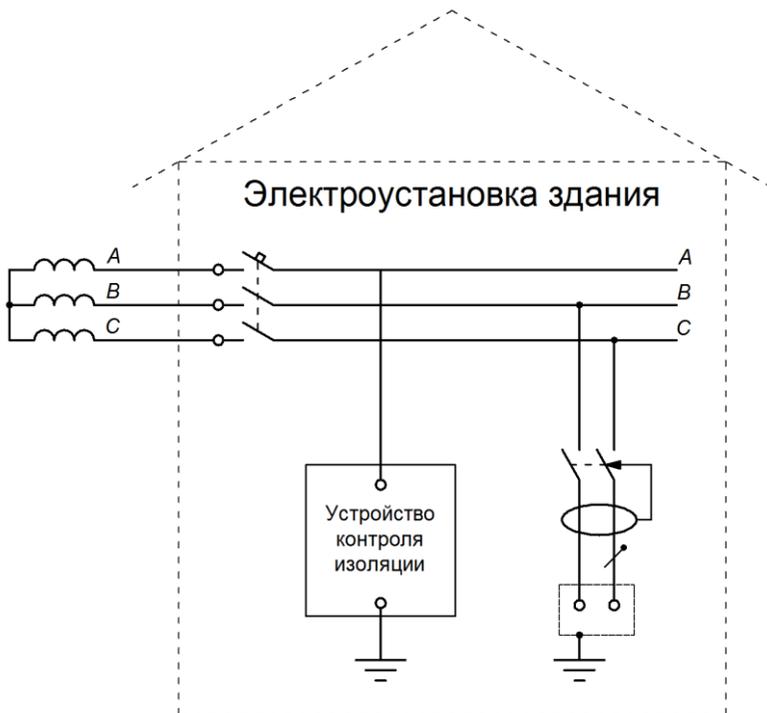


Рис. П.2.4

Применение УЗО в системе ИТ регламентируется ПУЭ 7-го издания следующим образом (п. 1.7.58): "...В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА".

В электроустановках системы ИТ устройства контроля изоляции подают сигнал при первом замыкании на землю. Если до устранения первого замыкания происходит второе замыкание на землю, то происходит срабатывание УЗО.

Основное требование при использовании УЗО - устанавливать его необходимо как можно ближе к электроприемнику. Одновременное функционирование устройств контроля изоляции и УЗО не оказывает влияния на работу каждого из этих устройств.

Индивидуальное задание и методические указания по его выполнению

Для устройств защитного отключения из технического каталога электрическая продукция «Интерэлектрокомплект» «Аппараты защиты электрических цепей», 2005г., (стр.17-32), выполнить следующее:

1. Изучить техническое описание дифференциальных выключателей типа ВД1-63 и дифференциальных автоматических выключателей типа АД12, АД14. Изобразить принципиальную схему подключения однофазной и трехфазной электрической нагрузки к электрической силовой сети посредством дифференциальных выключателей и дифференциальных автоматических выключателей в многолинейном (с подробным изображением основных элементов конструкции выключателей), и в однолинейном исполнении. Описать принцип действия дифференциального выключателя и дифференциального автоматического выключателя. Назвать их общие и отличные признаки.
2. Для указанного преподавателем варианта задания записать условное обозначение (в соответствии с общепринятой структурой) и технические характеристики дифференциального выключателя и дифференциального автоматического выключателя для 2-х полюсного и 4-х полюсного исполнения. Изобразить паспортные защитные характеристики.

Таблица П.3.1

Варианты к п.2 задания

Наименование характеристик	Значение номинального тока соответствующего первой цифре варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальный ток нагрузки, I_n, A	16	25	32	40	50	63	80	100	16	25
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка), $I_{\Delta n}, mA$	Значение номинального отключающего дифференциального тока соответствующего второй цифре варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	10	30	100	300	30	100	300	30	100	300

3. Выбрать дифференциальный автомат для защиты трехфазной электроустановки от токов перегрузки и короткого замыкания и защиты обслуживающего персонала от поражений электрическим током. На бланке карты селективности построить время-токовую характеристику для выбранного дифференциального автомата. Характеристику подписать в соответствии с принятой структурой условного обозначения.

Варианты к п.3 задания

№ варианта (по второй цифре)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Расчетная мощность электроустановки, кВт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный отключающий дифференциальный ток, мА	10	30	100	300	30	100	300	30	100	300
Напряжение сети, В	380									
Кэф. мощности	0,76									

Методические указания

П.3.1 Методические указания к пункту 1 задания

1.1 Конструкция и принцип действия УЗО приведены в разделах 2, 3 и 4. Ниже дано описание конкретных образцов.

Технические характеристики УЗО вида дифференциальный выключатель

Технические характеристики	УЗО-01	УЗО-02	ВД1-63
Номинальный ток нагрузки I_n , А -2-х полюсные -4-х полюсные	16,25,32,40,63,80,100 16,25,32,40,63,80	100	16,25,32,40,63,80,100 16,25,32,40,63,80,100
Число полюсов	2, 4	4	2, 4
Номинальное напряжение, В	240/415	230/400	230/400
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) $I_{\Delta n}$, мА	10,30,100,300	30,100,300	10,30,100,300
Номинальный не отключающий дифференциальный ток (уставка) $I_{\Delta n0}$, мА	0,5 $I_{\Delta n}$		
Номинальная включающая и отключающая способность I_m , А	1500		800
Номинальный условный ток короткого замыкания I_{sc} , А	3000		3000
Износостойкость, циклов не менее	10000	20000	10000
Время отключения (срабатывания) при $I_{\Delta n}$, не более сек	0,05		0,04
Сечение подключаемого провода, мм ²	1-25	2,5-50	35
Степень защиты	IP20		IP20
Функциональное исполнение	АС		АС

Краткая характеристика УЗО типа ВД1-63:

- Быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток, без встроенной защиты от сверхтоков.

- Защита человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждениях изоляции.
- Предотвращение пожаров вследствие протекания токов утечки на землю.
- Сохраняет работоспособность при любом напряжении сети (тестирующая цепь функционирует при снижении напряжения до 100 В).
- Не имеют собственного потребления электроэнергии.
- Свыше 50 типоразмеров на 8 номинальных токов от 16 до 100А и 4 номинальных отключающих дифференциальных тока от 10 до 300 мА.
- Широкий диапазон рабочих температур от -40 до +50 °С
- Высокая механическая износостойкость
- Гарантия 3 года.

Конструкция дифференциального автомата представляет собой соединение двух функциональных узлов: электронного модуля дифференциальной защиты и автоматического выключателя серии ВА47-29. Электронный модуль состоит из дифференциального трансформатора тока, электронного усилителя с пороговым устройством, исполнительного электромагнита сброса и источника питания.

При установке рукоятки управления автоматического выключателя в положение "ВКЛ" на электронный модуль поступает напряжение питания. В нормальном режиме работы, при отсутствии дифференциального тока (тока утечки), в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока, и являющимися его первичной обмоткой, протекает рабочий ток нагрузки. Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно противоположно направленные магнитные потоки. Результирующий магнитный поток равен нулю и ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

При случайном прикосновении человека к открытым проводящим частям или пробое изоляции на корпус электроустановки по фазному проводнику кроме тока нагрузки протекает дополнительный ток, являющийся для трансформатора тока дифференциальным. Если этот ток превышает значение уставки порогового устройства, последнее подает ток от источника питания на катушку электромагнита сброса, который сдергивает защелку механизма независимого расцепления выключателя и электрическая цепь размыкается.

При этом кнопка "Возврат" выступает из лицевой панели. Для повторного включения необходимо нажать на эту кнопку до фиксации и взвести рукоятку дифференциального автоматического выключателя.

Для осуществления периодического контроля исправности дифференциального автоматического выключателя используется цепь

тестирования. При нажатии на кнопку "Тест" искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Немедленное срабатывание дифференциального автоматического выключателя означает исправность всех его элементов.

Технические характеристики УЗО вида дифференциальный автомат типа АД 12, АД 14

Технические характеристики	АД 12, АД 14
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51327. 1-99, ТУ 99 АГИЕ.641243.039
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток I_n , А	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, мА	10, 30, 100, 300
Номинальная отключающая способность, А	4500
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	50
Число полюсов	2,4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Износостойкость, циклов В-О, не менее	10 ⁴
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм ²	35
Наличие драгоценных металлов (серебро), г/полюс	0,6 ÷ 2,0
Масса (2/4-х полюсные), кг	0,25 / 0,45

Краткая характеристика АД 12, АД 14:

- Быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток, со встроенной защитой от сверхтоков.
- Три вида защиты: защита человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждениях изоляции; предотвращение пожаров, возникающих вследствие протекания токов утечки на землю; защита от перегрузки и короткого замыкания.
- Сохраняет работоспособность при пониженном напряжении сети (до 50 В).
- Улучшенная конструкция модуля дифференциальной защиты.
- Около 50 типоразмеров на 9 номинальных токов от 6 до 63А и 4 номинальных отключающих дифференциальных тока от 10 до 300 мА.
- Индикация срабатывания от дифференциального тока.
- Широкий диапазон рабочих температур от –25 до +40 °С.
- Высокая механическая износостойкость.
- Гарантия 3 года.

Сходство и различия дифференциального выключателя и дифференциального автоматического выключателя.

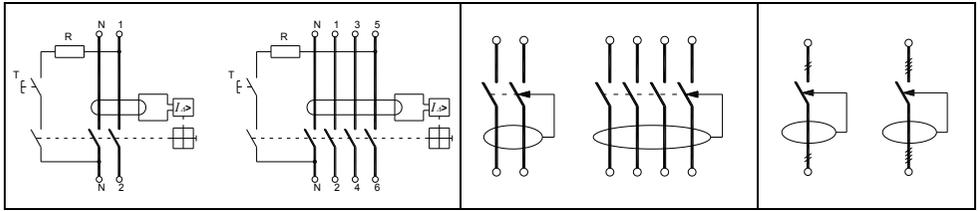
Сходство

- Одинаковый принцип контроля тока утечки – с использованием дифференциального трансформатора тока
- Одинаковый способ защиты персонала – путем отключения от электрической сети всех рабочих проводников, подходящих к электроустановке с использованием высоконадежного механического расцепителя с мощной контактной группой и механизмом взвода отключающих пружин с индикатором положения.
- Одинаковый способ проверки работоспособности – путем искусственно создаваемого дифференциального тока с использованием специальной электрической цепи тестирования.

Различия

- Наличие только у дифференциального выключателя чувствительного элемента, который не имеет собственного потребления электроэнергии и поэтому всегда сохраняет работоспособность. У дифференциального автомата этот чувствительный элемент представляет собой электронное пороговое устройство с источником питания, которое может потерять работоспособность при выходе из строя электронных компонентов, а также при обрыве фазного или нулевого проводника до места установки дифференциального автомата.
- Наличие только у дифференциального автомата встроенной защиты от перегрузок и всех видов тока короткого замыкания в электрической сети и поэтому наличие у него более мощных силовых контактов с системой дугогашения. В отличие от этого, последовательно с дифференциальным выключателем рекомендуется устанавливать автоматический выключатель с номинальным током расцепителя на ступень ниже, чем его номинальный ток, тем самым не допускается отключение токов однофазного короткого замыкания самим дифференциальным выключателем (на токи трехфазного и двухфазного короткого замыкания дифференциальный выключатель не реагирует).
- Наличие только у дифференциального автомата электромагнита сброса, который надежно сдергивает защелку механизма независимого расцепления. Однако этот электромагнит также запитан от источника питания посредством электронного усилителя с пороговым устройством. У дифференциального выключателя воздействие на механизм свободного расцепления осуществляет магнитоэлектрическая защелка, которая не имеет специального источника питания и поэтому всегда сохраняет работоспособность.

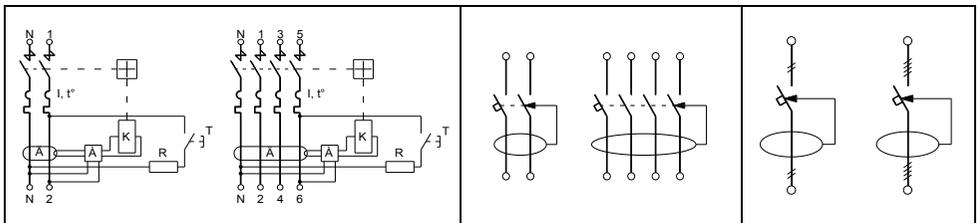
Электрические схемы и условное графическое обозначение
дифференциального выключателя и дифференциального автомата



а) электрические схемы

б) условное графическое обозначение

Рис. П.3.1 Дифференциальный выключатель



а) электрические схемы

б) условное графическое обозначение

Рис. П.3.2 Дифференциальный автомат

Схема подключения трехфазной нагрузки посредством дифференциального выключателя приведена на рис.2а, г, а дифференциального автомата – на рисунке 2б, в.

П 3.2. Методические указания к п.2 задания

Используя структуру условного обозначения, приведенную в разделе 3, записать два варианта обозначения дифференциального выключателя и два варианта обозначения дифференциального автоматического выключателя.

П 3.3. Методические указания к п.3 задания

Рассчитать ток электроустановки по формуле активной мощности трехфазной цепи. Выбрать номинальный ток дифференциального автоматического выключателя (I_n) таким образом, чтобы он был не менее (т.е. больше или равен) расчетного тока электроустановки ($I_n \geq I_{расч}$). Обычно номинальный ток дифференциального автомата равен номинальному току теплового и электромагнитного расцепителя.

Перерисовать время-токовую характеристику отключения (защитную характеристику) дифференциального автомата или использовать, для

построения характеристики, следующие опорные точки: для кратности тока более 10, время отключения составляет: 0,01с – в области характеристики, где время не зависит от тока, и 4с – в области характеристики, где время зависит от тока; для кратности 5, время составляет 10с; для кратности тока 1,45, время – 1000с; для кратности тока 1, время стремится к бесконечности. Для выбранного тока расцепителя нарисовать ось абсцисс в именованных единицах тока, используя формулу $I=K \cdot I_n$.

Защитную характеристику блока дифференциального выключателя, входящего в дифференциальный автомат, следует изобразить в виде пунктирной прямой линии параллельной оси тока на «высоте» по времени – 0,01с. Начало линии ограничить током равным половине заданного номинального дифференциального отключающего тока. Характеристику подписать согласно структуре условного обозначения, используя свободное поле графика.