

Технический редактор: А.С. Зюзин
Компьютерная графика: Ю.В. Котляров

Рецензенты:
директор научно-технического инновационного центра энергосберегающих технологий и техники (НТИЦ ЭТТ)
к.т.н. доц. А.Г. Вакулко;
кафедра «Инженерной экологии техносферы» Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА).

ISBN 5-900835-99-5

В монографии изложены общие принципы организации системы электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий, приведены сведения из ряда последних нормативных документов, регламентирующих устройство электроустановок и технические требования к электрозащитным устройствам. Рассмотрены правила применения устройств защитного отключения (УЗО), методы контроля и испытания этих устройств, приведены примеры их применения в различных электроустановках в качестве электрозащитных и противопожарных устройств. Дополнительно представлены сведения по системам контроля изоляции и молниезащиты электроустановок.

Книга может быть использована в качестве учебно-справочного пособия при обучении, подготовке и переподготовке электротехнического персонала по теме обеспечения электробезопасности, также книга может быть полезна специалистам-электротехникам при выполнении работ по проектированию, монтажу, наладке и эксплуатации электроустановок жилых, производственных и общественных зданий с применением УЗО.

Нормативные материалы, приведенные в работе, представляют интерес для работников органов сертификации, испытательных лабораторий, специалистов проектных, электромонтажных, эксплуатационных организаций, работников различных энергетических служб, а также частных лиц, деятельность которых тем или иным образом связана с решением проблем электро- и пожаробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий.

ISBN 5-900835-99-5

©Составление и оформление ЗАО «Энергосервис», 2007
©Монаков В.К., 2007

ВВЕДЕНИЕ

В работе изложены общие принципы организации системы электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий, приведены сведения из ряда последних нормативных документов, регламентирующих устройство электроустановок и технические требования к электрозащитным устройствам. Рассмотрены правила применения устройств защитного отключения (УЗО), методы контроля и испытания этих устройств, приведены примеры их применения в различных электроустановках в качестве электрозащитных и противопожарных устройств. Дополнительно представлены сведения по системам контроля изоляции и молниезащиты электроустановок.

Данная работа может быть использована в качестве учебно-справочного пособия при обучении, подготовке и переподготовке электротехнического персонала по теме обеспечения электробезопасности. Также, она может быть полезна специалистам-электротехникам при выполнении работ по проектированию, монтажу, наладке и эксплуатации электроустановок жилых, производственных и общественных зданий с применением УЗО.

Справочный материал книги основан на действующих нормативных документах и предназначен для использования специалистами при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации электроустановок жилых, производственных и

общественных зданий с применением устройств защитного отключения — УЗО.

Книга может быть также полезна работникам органов сертификации, сертификационных испытательных лабораторий, специалистам проектных, электромонтажных, эксплуатационных организаций, работникам Госэнергонадзора, Госпожнадзора, Энергосбыта и других организаций, а также частным лицам, деятельность которых тем или иным образом связана с решением проблем электро- и пожаробезопасности.

Издание данной работы должно способствовать реализации Государственной Программы по сертификации электроустановок в Российской Федерации, разработанной в соответствии с «Правилами системы сертификации электроустановок зданий», утвержденными Приказом Минтопэнерго РФ и Госкомитета РФ по стандартизации и метрологии от 05.10.98 № 1/322.

В данном издании обобщен опыт, накопленный в отечественной практике проектирования и эксплуатации электроустановок с применением УЗО, учтены замечания, предложения, дополнения специалистов проектных, электромонтажных, пусконаладочных и эксплуатационных организаций по ранее изданным «Рекомендациям по проектированию, монтажу и эксплуатации электроустановок зданий при применении УЗО».

Автор выражает благодарность специалисту первой категории Госэнергонадзора В.В. Шатрову, руководителю испытательного центра «РОСТЕСТ–Москва» А.В. Пешкову, с.н.с. ИОРФАНа Н.К. Харчеву, начальнику отдела электрооборудования ФГУ ВНИИПО МЧС России В.А. Пехотинову, завгруппой ЦНИИЭП инженерного оборудования М.Г. Матвеевой, руководителю проектов ЗАО «Петрозлектрокомплекс» В.А. Харитонову, профессорам В.А. Старшинову — МЭИ, Б.И. Косареву — МГУПС (МИИТ), В.К. Битюкову — МИРЭА, С.А. Редкозубову — МГА, А.А. Гурову — ВАРВСН им. Петра Великого, заведующему кафедрой ЭС МЭИ Ю.П. Гусеву, руко-

водителю электротехнического отделения ЦЭБ В.С. Петухову, заместителю директора ВЭИ Г.Г. Лаврентьеву, ученому секретарю фонда им. В.И.Вернадского А.И. Ревякину, директору ООО «ПП ОПУС» Пудикову А.Н., главному специалисту «АПМ Солодовникова — СПб» Р.И. Пашковскому, главному специалисту «Мособлгорэкспертизы» Л.Г. Насановскому, главному инженеру ЗАО «Инженер-сервис» О.В. Кондратьеву и другим за ценные замечания и предложения, сделанные ими по предыдущему изданию.

Просьба замечания по настоящему изданию и предложения к следующему направлять автору в Научно-методический центр проблем электрозащитных устройств Московского энергетического института (технического университета) —

НМЦ ПЭУ МЭИ,

111116, Москва, Энергетический проезд, д. 8.

Тел./факс: (495) 362-7931, 362-7173, 362-7491.

E-mail: uzo@uzo.ru

Web: www.uzo.ru

1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

1.1. Общие положения

Все более широкое использование электроэнергии во всех областях деятельности человека, неуклонный рост энерговооруженности труда, резкое увеличение количества электроприборов в быту и на производстве естественным образом повлекли за собой повышение опасности поражения человека электрическим током.

Электрический ток не имеет каких-либо физических признаков или свойств, по которым человек мог бы его ощущать органами чувств до момента контакта, что усугубляет его опасность для человека.

В межгосударственном стандарте ГОСТ 12.1.009-76 (перездание 1999 г.) «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения» [1] даны следующие определения наиболее важных понятий рассматриваемой темы:

Электробезопасность — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электротравма — травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электротравматизм — явление, характеризующееся совокупностью электротравм.

Электротравматизм составляет значительную долю в общем числе несчастных случаев. Специалистам-электрикам и

рядовым пользователям известно большое количество случаев гибели или тяжелого поражения людей от удара электрическим током или возгораний и пожаров, вызванных неисправностями электрооборудования и электропроводок.

Электротравма — событие, характеризуемое определенным сочетанием причинно-следственных связей между элементами системы «человек — электроустановка — среда».

В данной системе человек является объектом, электроустановка — источником поражения, а среда оказывает влияние как на человека, так и на электроустановку. Работу по предупреждению электротравматизма следует вести путем изучения свойств и взаимосвязи всех элементов этой системы с учетом их вероятностного характера и созданием комплекса защитных мероприятий.

1.2. Критерии электробезопасности

Факт воздействия на организм человека электрических разрядов как электростатических, так и в цепи электрохимических элементов был установлен еще в XVIII веке рядом исследователей.

Итальянец Л. Гальвани исследовал действие электрического разряда на мышцы и нервы препарированной лягушки. Француз Ж. Марат, известный деятель французской революции, врач по специальности написал в 1783 г. «Трактат о медицинском электричестве», удостоенный специальной премии. Он применял терапию в виде легких электрических разрядов у наружных уголков больных глаз, что в то время было совершенной новацией. Голландец П. Мушенбрук, описывая изобретение лейденской банки, обратил внимание на сильное и необычное действие электрического разряда на человека.

Впервые в истории электротехники опасность воздействия на человека электрического разряда была отмечена русским ученым В.В. Петровым, членом Петербургской академии наук,

профессором Медико-хирургической академии. В 1803 г. он зафиксировал феномен электротравмы. Электрическому удару он подвергся сам лично, проводя эксперимент в своей лаборатории и случайно коснувшись токоведущих частей батареи, находящихся под напряжением около 1800 В. От электрического удара ученый на некоторое время потерял сознание.

Начиная с 1802 г. в русском журнале «Электричество» появляются систематические публикации о несчастных случаях, вызванных воздействием электрического тока.

В 1863 г. француз Л. Меркюр описал производственную электротравму на электроустановке постоянного тока. В 1882 г. австрийский ученый С. Еллинек опубликовал статью об электротравме от удара переменным током, в частности, им было установлено, что переменный ток более опасен для человека, чем постоянный.

По мере расширения области промышленного применения электричества неизменно возрастал интерес учёных всего мира к изучению воздействия электрического тока на организм человека и последствий этого воздействия.

Большой вклад в изучение этой проблемы внесли известные ученые: S. Jellinek, H.H. Egyptien, L.P. Ferris, W.B. Kouwenhoven, E. Reindl, D.G. King, H.B. Williams, C.F. Dalziel, S. Koeppen, G. Irgesberger, H. Hofherr, J.T. Harley, G. Biegelmeier, F. Smola, B.J. Simpson, J. Jacobsen, M. Охаси, Т. Кавасз, А.А. Смуров, А.П. Киселев, В.Е. Манойлов, Б.А. Князевский, Б.И. Косарев и многие др.

В пятидесятых годах XX века учеными было однозначно установлено, что при воздействии электрического тока на человека, наиболее уязвимым органом является сердце.

Фибрилляция (беспорядочные сокращения мышц) сердца может возникать даже при малых значениях тока. Отпали версии об асфиксии, параличе мышц, поражении мозга как первичных причинах летального исхода при поражении электрическим током (рис. 1.1).

В 70-е годы прошлого столетия появились работы [2, 3], в которых доказывалось, что нейроны живых организмов, в том числе и человека, разрушаются при значении тока 10–12 А и выделении энергии 10–20 Дж. Появилось новое направление — исследование действия электрического тока на центральную нервную систему человека. В частности, новые исследования смогут выявить причину смертельных электротравм при отсутствии электрических меток, при воздействии электрического тока не критического значения. По одной из существующих в настоящее время версий, причиной такого электропоражения является массовая гибель нейронов, находящихся вблизи акупунктурных зон человеческого тела.

Исследователями было установлено, что результат воздействия электрического тока на организм человека зависит не только от значения тока, но и от продолжительности его

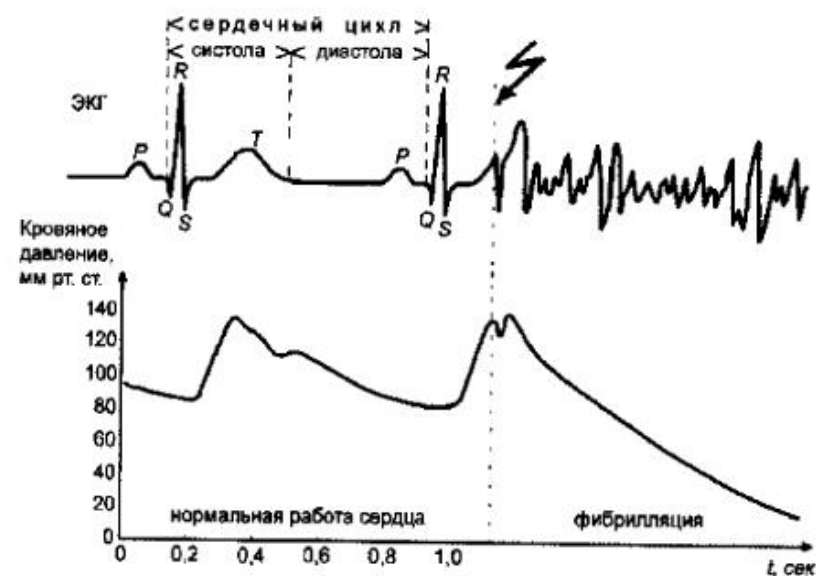


Рис. 1.1. Электрокардиограмма и график изменения кровяного давления при электрическом ударе и возникновении фибрилляции сердца

протекания, приложенного напряжения, пути тока через тело человека, частоты тока, формы кривой, коэффициента пульсаций и, в меньшей степени, от индивидуальных качеств человека, и других факторов.

Электрическое сопротивление тела человека зависит от влажности кожи, площади контакта, пути протекания тока по телу, физиологических особенностей организма и ряда других факторов.

Сопротивление кожи во влажном состоянии крайне мало. При определении условий электробезопасности в электроустановке согласно ГОСТ 12.1.038-82 [4], за расчетное значение сопротивления тела человека принимается 1000 Ом при приложенном напряжении 50 В и 6000 Ом при 36 В.

Известно, что сопротивление внутренних органов человека не превышает 500...600 Ом.

Поскольку реальное значение сопротивления тела человека является величиной достаточно неопределенной и зависящей от многих факторов, для расчетной оценки опасности электропоражения в электроустановке принято использовать в качестве критерия опасности ток через тело человека, а не напряжение, приложенное к нему.

Результаты научных исследований воздействия электрического тока на человека изложены в многочисленных публикациях и послужили базой для существующих стандартов.

Особого внимания заслуживают результаты фундаментальных исследований, выполненных в 1940-1950 гг. в Калифорнийском университете (Berkeley) американским ученым Чарльзом Дальцилом (Charles F. Dalziel).

Профессор Ч. Дальцил провел на большой группе добровольцев серию экспериментов по определению электрических параметров тела человека и физиологического воздействия электрического тока на человека (рис. 1.2) [5].



Рис. 1.2. Эксперимент по определению значения «отпускающего» (Let-go) тока с зажатым в руке испытуемого медным проводником

На заднем плане, стоит — Ч. Дальцил.
Фото из архива Калифорнийского университета

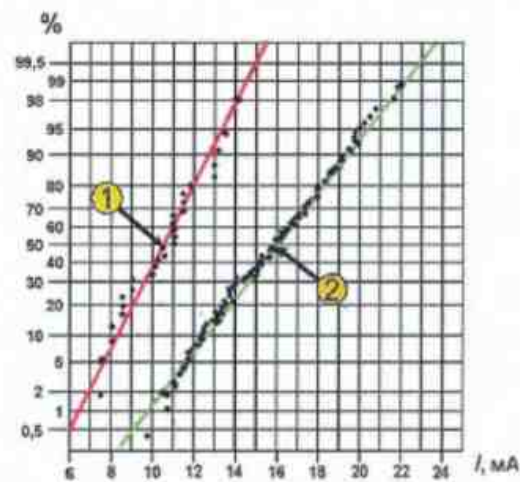


Рис. 1.3. Результаты экспериментального исследования зависимости значений «отпускающего» тока от индивидуальных качеств испытуемого (1 — женщины, 2 — мужчины)

Результаты его исследований считаются классическими и не потеряли своего значения до настоящего времени.

На рис. 1.3 приведены результаты экспериментального исследования зависимости значений «отпускающего» (*Let-go*) тока от индивидуальных качеств человека (1 — экспериментальные данные для группы из 28 испытуемых женщин — среднее значение тока 10,5 мА; 2 — для группы из 134 мужчин — среднее значение тока 16 мА).

На рис. 1.4 графически представлена область предельно допустимых значений тока и длительности его протекания через человека, с вероятностью 99,5 % не вызывающих фибрилляцию сердца (А — область недопустимых значений).

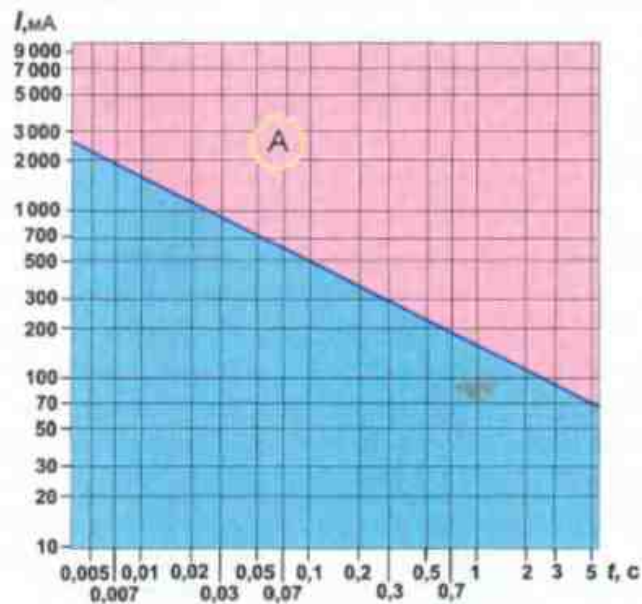


Рис. 1.4. Графическая интерпретация зависимости предельно допустимого нефибрилляционного (99,5 %) тока от длительности его протекания через тело человека (А — область недопустимых значений)

По Дальцилу граница областей допустимых и недопустимых значений тока через человека и длительности его протекания определяется выражением:

$$I = \frac{165}{\sqrt{T}},$$

где I — предельно допустимый ток через человека, мА;

T — длительность протекания тока через тело человека, с.

Данное выражение Ч. Дальцил считал справедливым лишь для интервала времени 0,03 ... 3,0 с и для токов от 40 мА.

Известный австрийский ученый Г. Бигельмайер (*G. Biegelmeier*), внесший значительный вклад в изучение проблем электробезопасности, разработки и внедрения УЗО, в 1980-е годы провел серию экспериментов, подтвердивших достаточную достоверность принятых в качестве норм расчетных значений сопротивления тела человека [6].

Целью экспериментов было изучение реакции человека на воздействие электрического тока в реальных условиях — при напряжении 220 В.

Г. Бигельмайер, используя самую совершенную на тот момент времени измерительную технику, приняв все необходимые меры предосторожности, с большим мужеством и самопожертвованием провел измерение тока через собственное тело (рис. 1.5). Некоторые из полученных им осциллограмм, дающие наглядное представление о значениях тока через тело человека при прямом прикосновении в реальных условиях, приведены на рис. 1.6.

Установленные ГОСТ 12.1.038-82 [4] допустимые значения тока и длительности его протекания через тело человека примерно соответствуют выражению Ч. Дальцила.

Данный стандарт устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам.

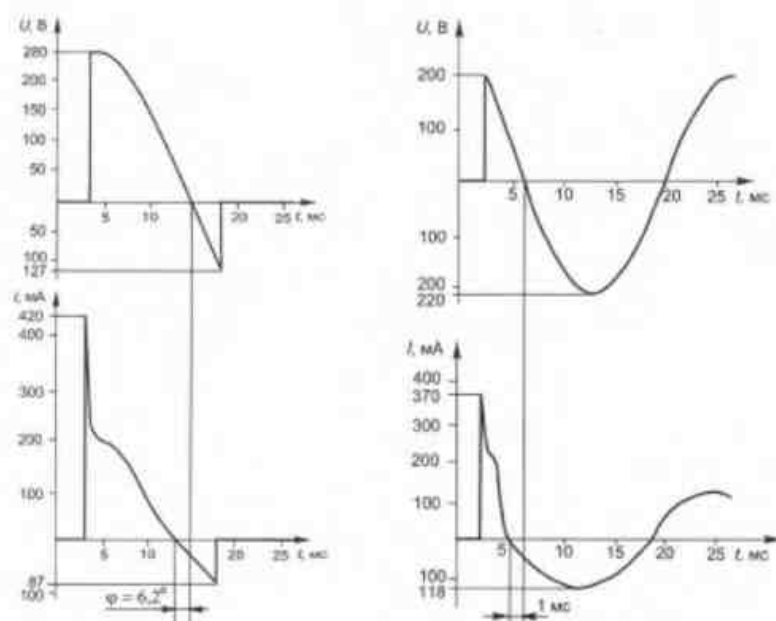


Рис.1.5. Эксперимент по изучению реакции человека на воздействие электрического тока. Г. Бигельмайер, 1980 г.

Стандарт содержит также ряд определений.

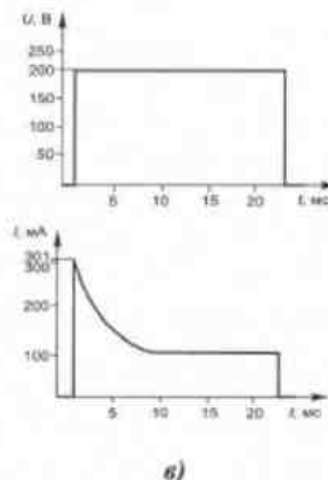
Аварийный режим электроустановки — работа неисправной электроустановки, при которой могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с электроустановкой.

Бытовые электроустановки — электроустановки, используемые в жилых, коммунальных и общественных зданиях всех типов, например, в кинотеатрах, клубах, школах, детских садах, магазинах, больницах и т.п., с которыми могут взаимодействовать как взрослые, так и дети.



а)

б)



в)

Рис. 1.6. Осциллограммы напряжения, приложенного к телу человека и тока, протекающего через тело человека

а) и б) переменный ток 50 Гц, в) постоянный ток

Отпускающий ток — электрический ток, не вызывающий при прохождении через тело человека непреодолимых судорожных сокращений мышц руки, в которой зажат проводник.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Допустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека, при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки

Род тока	$U, В$	$I, мА$
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Примечания: 1. Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения.
2. Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в табл. 1.2.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ и частотой 50 Гц не должны превышать значений, указанных в табл. 1.3.

Значения основных параметров, определяемые американскими нормативными документами, незначительно отличаются от данных российского ГОСТа. В табл. 1.4 и 1.5 приведены

Таблица 1.2

Предельно допустимые значения тока через тело человека

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока $t, с$											
		0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1,0
Переменный 50 Гц	$U, В$	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	$I, мА$	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	$U, В$	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	$I, мА$	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
Выпрямленный двухполупериодный	$U_{ампл}, В$	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	15
	$I_{ампл}, мА$												
Выпрямленный однополупериодный	$U_{ампл}, В$	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—
	$I_{ампл}, мА$												

Примечание. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при продолжительности воздействия более 1 с, приведенные в таблице, соответствуют отпускающим (переменным) и небольшим (постоянным) токам.

параметры неощутимых, неотпускающих и фибрилляционных токов, характеристики физиологического действия электрического переменного тока 60 Гц по материалам факультета физики и астрономии государственного университета штата Джорджия (*Georgia State University*), США [7].

Таблица 1.3

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина	
	U , В	I , мА		U , В	I , мА
От 0,01 до 0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	200	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	Св. 1,0	12	2

Примечание. Значения напряжений прикосновения и токов установлены для людей с массой тела от 15 кг.

Таблица 1.4

Значения неощутимых, неотпускающих и фибрилляционных токов

Ток, мА (контакт длительностью 1 с)	Физиологический эффект
1	Порог чувствительности, «покалывание»
10 ... 20	«Неотпускание», судорожные сокращения мышц
100 ... 300	Фибрилляция сердца, смертельная опасность при более длительном воздействии

Таблица 1.5

Физиологическое действие электрического тока

Ток, мА (контакт длительностью 1 с)	Физиологическое действие	Напряжение, В, под действием которого протекает ток при значениях сопротивления тела человека	
		100 000 Ом	1 000 Ом
1	Порог чувствительности, «покалывание»	100	1
5	Длительно безопасный ток	500	5
10 ... 20	Начало судорожных сокращений мышц, «неотпускающий» ток	1000	10
100 ... 300	Фибрилляция желудочков сердца, смертельная опасность при более длительном воздействии, нарушение дыхательных функций	10 000	100
6 000	Нарушение сердечного ритма, фибрилляция сердца, паралич дыхания, возможный ожог	600 000	6 000

В стандарте международной электротехнической комиссии — МЭК (*IEC/TS 60479-1 – 1994*) [8] области физиологического действия на человека переменного тока частотой 50 ... 60 Гц представлены в графическом виде — рис. 1.7.

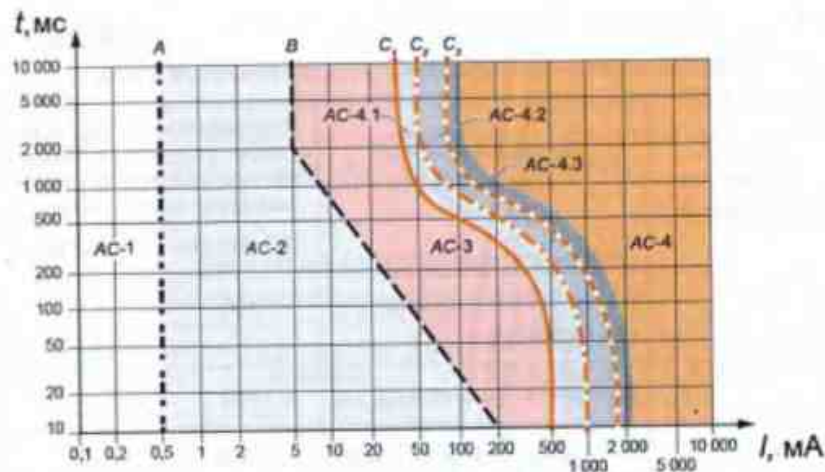


Рис. 1.7. График областей физиологического действия на человека переменного тока (50/60 Гц) по МЭК (IEC/TC64 Publ. 60479-1, 3-1994)

AC-1 — неощутимые токи; AC-2 — ощутимые, но не вызывающие физиологических нарушений; AC-3 — ощутимые, но не вызывающие опасность фибрилляции сердца; AC-4: AC-4.1 — ощутимые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность < 5%); AC-4.2 — ощутимые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность < 50%); AC-4.3 — ощутимые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность > 50%).

1.3. Основные принципы защиты от поражения электрическим током

Результат действия электрического тока — поражение человека является величиной случайной и определяется целым рядом факторов. Важнейшими из них являются факторы, определяющие вероятность возникновения электрической цепи — «токопроводящие элементы электроустановки — человек» и протекание через тело человека критического значения тока в течение недопустимого интервала времени. Эти факторы зависят от состояния оборудования (исправное/неис-

правное) и параметров указанной цепи — вида прикосновения (прямое/косвенное), переходного сопротивления, внутреннего сопротивления тела человека.

Поражение человека происходит при совпадении двух факторов: вероятности того, что при прикосновении к электроустановке человек попадет под электрическое напряжение — $P(A)$ и вероятности того, что количество электричества (т.е. ток и длительность его протекания), проходящее через тело человека, превысит допустимое значение — $P(B)$.

Фактор $P(B)$ зависит от фактора $P(A)$, поэтому вероятность поражения электрическим током P_h определяется выражением:

$$P_h = P(B/A) P(A). \quad (1.1)$$

Фактор $P(A)$, в свою очередь, можно определить как:

$$P(A) = P(C) P(D), \quad (1.2)$$

где: $P(C)$ — вероятность прикосновения человека к проводящим частям электроустановки; $P(D)$ — вероятность появления на проводящих частях электроустановки напряжения.

Таким образом, вероятность поражения определяется выражением:

$$P_h = P(C) P(D) P(B/A). \quad (1.3)$$

Выражение (1.3) представляет вероятность поражения человека в самом общем виде. Рассмотрение и уточнение каждого из факторов, составляющих указанное выражение, и зависящих от большого количества самых разнообразных условий — вида, конструкции электроустановки, ее параметров, обстоятельств включения человека в электрическую цепь, сопротивления тела человека в определенный момент времени, состояния его здоровья и многих других, приводит к созданию довольно сложной стохастической модели поражения электрическим током [9]. Реализация этой модели позволила

создать программу, позволяющую с помощью компьютера обрабатывать большие информационные массивы факторов, определяющих уровень электробезопасности [10].

Защитные меры, в зависимости от того, на какой из трех сомножителей выражения (1.3), определяющего вероятность поражения P_h , они влияют (уменьшают), делятся на три основные категории.

1. Организационные меры защиты (для квалифицированного персонала), определяющие $P(C)$:

— оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;

— допуск к работе;

— надзор во время выполнения работы;

— оформление перерывов и переводов на новое рабочее место по окончании работ.

2. Организационно-технические меры, определяющие $P(D)$:

— подготовка рабочих мест, изоляция и ограждение токоведущих частей электрооборудования, применение блокировок, безопасных режимов работы сети, защитных средств, предупредительных плакатов, сигнализации, защитной изоляции, изолирования рабочего места, переносных заземлителей и др.

3. Технические меры защиты, определяющие $P(B/A)$:

— защитное заземление;

— автоматическое отключение питания (защитное зануление, защитное отключение);

— уравнивание потенциалов;

— выравнивание потенциалов;

— двойная изоляция, изолирование рабочего места;

— сверхнизкое (малое) напряжение;

— защитное электрическое разделение сетей;

— контроль, профилактика изоляции, обнаружение ее повреждений, защита от замыканий на землю;

— защита от перехода напряжения с высшей стороны на низшую;

— грозозащита.

Каждая из перечисленных технических мер защиты регламентируется комплексом нормативных и технических документов.

По принципу реализации защитного действия все существующие электротехнические меры можно разделить на три основные группы.

I. Обеспечение недоступности для человека токоведущих частей электрооборудования — организационные меры защиты $P(C)$, организационно-технические меры $P(D)$.

II. Снижение возможного значения тока через тело человека до безопасного значения — технические меры защиты $P(B/A)$, кроме автоматического отключения питания (защитного зануления, защитного отключения).

III. Ограничение времени воздействия электрического тока на организм человека — относящиеся к техническим мерам защиты $P(B/A)$, автоматическое отключение питания (защитное зануление, защитное отключение).

В стандарте ГОСТ Р МЭК 61140-2000 [11] основное правило защиты от поражения электрическим током сформулировано следующим образом: «Опасные токоведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть опасными:

— в нормальных условиях;

— при наличии неисправности».

Указанный ГОСТ (п. 6) подразделяет типовые меры защиты на две категории: основная защита и защита при наличии неисправности.

В одной и той же электроустановке, системе или электрооборудовании могут использоваться несколько из приведенных ниже мер защиты.

1. Защита с помощью автоматического отключения источника питания — защитная мера, при которой: *основная защита*

обеспечивается основной изоляцией между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями, защита в условиях неисправности обеспечивается автоматическим отключением источника питания.

2. Защита с помощью двойной или усиленной изоляции — защитная мера, при которой: основная защита обеспечивается основной изоляцией опасных токоведущих частей, защита при наличии неисправности обеспечивается дополнительной изоляцией, или основная защита и защита при наличии неисправности обеспечиваются усиленной изоляцией между опасными токоведущими частями и доступными частями (проводящими частями и поверхностями изоляционного материала).

3. Защита с помощью уравнивания потенциалов — защитная мера, при которой: основная защита обеспечивается с помощью основной изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями, защита при наличии неисправности обеспечивается с помощью системы уравнивания потенциалов, обеспечивающей защиту и препятствующей возникновению опасных напряжений между одновременно доступными открытыми и сторонними проводящими частями.

4. Защита с помощью электрического разделения цепей — защитная мера, при которой: основная защита обеспечивается с помощью основной изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями отдельной цепи, защита в условиях неисправности обеспечивается: простым отделением цепи от других цепей и заземления, и с помощью уравнивания потенциалов без осуществления заземления и межсоединения открытых проводящих частей отделяемой цепи в случае, когда к отделяемой цепи подсоединены несколько частей электрооборудования.

Не допускается преднамеренное соединение открытых проводящих частей с нулевым защитным (PE) или заземляющим проводником.

5. Защита с помощью нетокопроводящей среды — защитная мера, при которой: основная защита обеспечивается с помощью основной изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями, защита в условиях неисправности обеспечивается с помощью нетокопроводящей среды.

6. Защита с помощью системы безопасного сверхнизкого напряжения БСНН (SELV — Safety extra-low voltage — рис. 1.8) — защитная мера, при которой защита обеспечивается следующими мерами: ограничением напряжения в цепи (система БСНН), защитным отделением системы БСНН от всех цепей, помимо систем БСНН, ЗСНН (PELV), простым отделением системы БСНН от других систем БСНН, систем ЗСНН и от заземления.

Не допускается преднамеренное соединение открытых проводящих частей с нулевым защитным (PE) или заземляющим проводником.

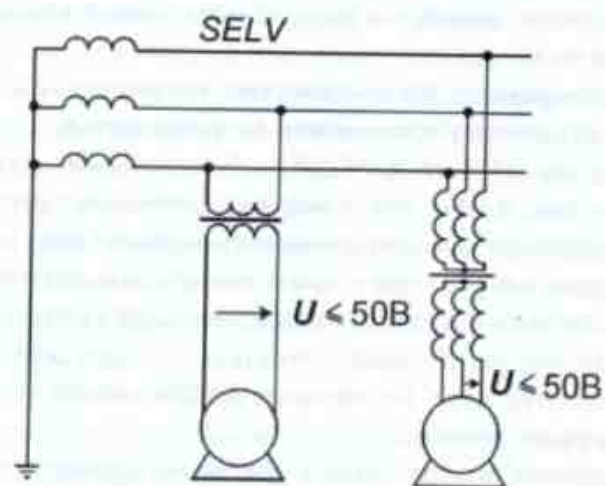


Рис. 1.8. Система БСНН (SELV)

В специальных помещениях, где требуется система БСНН и используется защитное экранирование, защитный экран должен быть отделен от каждой соседней цепи с помощью основной изоляции, рассчитанной на самое высокое из имеющихся напряжений.

7. Защита с помощью заземленной системы безопасного сверхнизкого напряжения ЗСНН — защитная мера, при которой защита обеспечивается за счет: ограничения напряжения в цепи, которая может быть заземлена и (или) открытые проводящие части которой могут быть заземлены (система ЗСНН), и защитного отделения системы ЗСНН от всех цепей, помимо БСНН и ЗСНН.

По ГОСТ Р 50571.3-94 [12] система БСНН (*SELV*) — защитная мера, которая предусматривает следующее. Основная защита осуществляется путем ограничения напряжения в цепи БСНН до сверхнизкого значения, отделением цепей системы БСНН от всех других цепей. Дополнительная защита состоит в том, что отделение цепей системы БСНН от других цепей является защитным разделением: цепи системы БСНН отделены от земли.

Преднамеренное присоединение открытых проводящих частей к защитному проводнику не допускается.

Система ЗСНН (*PELV — Protection extra-low voltage* — рис. 1.9) — защитная мера, которая предусматривает следующее. Основная защита осуществляется путем ограничения напряжения в заземленной цепи системы ЗСНН до сверхнизкого значения, разделением цепи системы ЗСНН от всех других цепей. Дополнительная защита состоит в том, что разделение цепи системы от других цепей является защитным разделением.

Допускается присоединение открытых проводящих частей электрооборудования (кроме электрооборудования класса III) к защитному или заземляющему проводнику, если это предусматривается соответствующим стандартом на изделие.

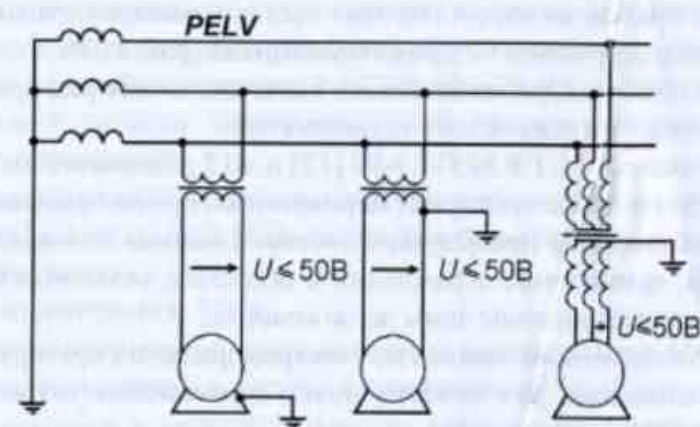


Рис. 1.9. Система ЗСНН (*PELV*)

Защитное отключение согласно классификации по ГОСТ Р МЭК 61140-2000 [11] относится к категории мер защиты: «Защита с помощью автоматического отключения источника питания» и осуществляет защиту человека от поражения в условиях неисправности электроустановки — повреждении или пробое изоляции электроустановки на корпус.

В настоящее время защитное отключение является одним из наиболее эффективных электротехнических средств.

Современная система электробезопасности должна обеспечивать защиту человека от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции

или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала (рис. 1.10).

Система электробезопасности включает в себя ряд организационных и технических мероприятий.

Согласно ГОСТ Р 50571.3-94 [12] п. 412 для защиты от прямого прикосновения служат мероприятия, предотвращающие прикосновение к токоведущим частям: изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости.

Дополнительная защита от электропоражения при прямом прикосновении достигается путем применения устройств защитного отключения.

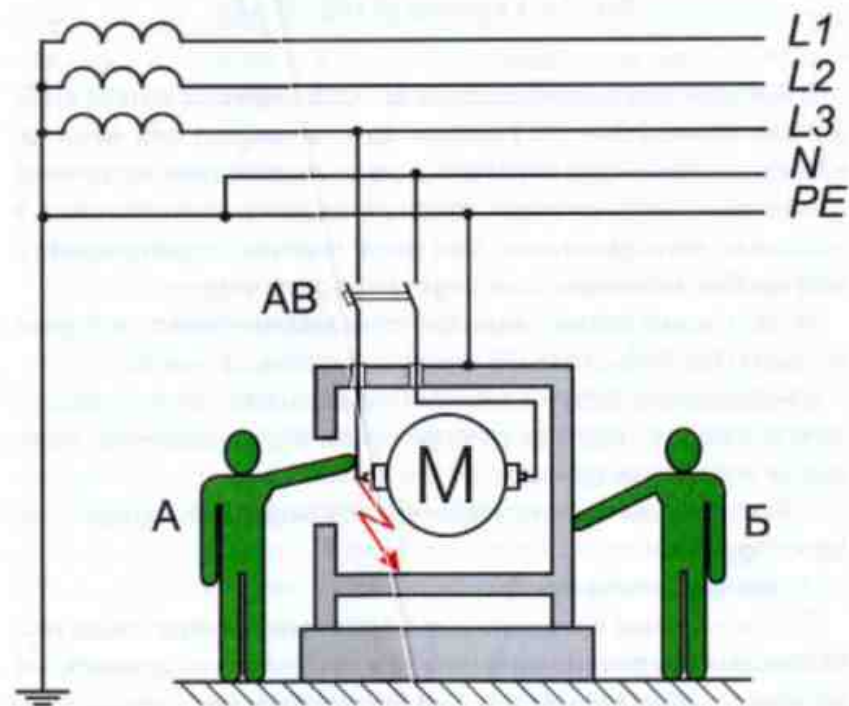


Рис. 1.10. Прямое (А) и косвенное (Б) прикосновение

Устройство защитного отключения является *превентивным* электробезопасным мероприятием и в сочетании с современными системами заземления (*TN-S, TN-C-S, TT*) обеспечивает высокий уровень электробезопасности при эксплуатации электроустановок.

Защита от поражения при косвенном прикосновении (ГОСТ Р 50571.3-93 п. 413) [12] обеспечивается следующими мероприятиями:

— применением УЗО;

— применением нулевых защитных проводников в электроустановках зданий с системой заземления *TN* или защитных проводников в электроустановках зданий с системой заземления *TT* в комплексе с устройствами защиты от сверхтока (предохранителями, автоматическими выключателями).

В Приложении 2 данной книги приведены схемы электрических сетей с примерами повреждений, которые следует учитывать при выборе и обосновании мер защиты от поражения электрическим током при наличии неисправности (ГОСТ Р МЭК 61140-2000, Приложение В) [11].

Во исполнение Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» Правительством Российской Федерации принят ряд постановлений.

Постановлением от 15 августа 2003 г. № 500 утверждено «Положение о федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов и единой информационной системе по техническому регулированию».

Постановлением от 21 августа 2003 г. № 513 утверждено «Положение о создании и деятельности экспертных комиссий по техническому регулированию».

Технический регламент — документ, устанавливающий обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Технический регламент с учетом степени риска причинения вреда устанавливает минимально необходимые требования, обеспечивающие электрическую безопасность.

В техническом регламенте содержатся правила и формы оценки соответствия (в том числе схемы подтверждения соответствия), определяемые с учетом степени риска, предельные сроки оценки соответствия и/или требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

В 2003 году Министерством энергетики России был вынесен на обсуждение технический регламент «Электрическая безопасность в электроэнергетике» [53].

Целью разработки технического регламента электрической безопасности в электроэнергетике являлось установление общих требований и правил предоставления информации об электрической безопасности при эксплуатации электроустановок и электрооборудования (совокупности машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены, предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования в другой вид энергии).

Технический регламент электрической безопасности в электроэнергетике в настоящее время подготовлен для публичного обсуждения в Государственной думе. По итогам «нулевого чтения» 26 марта 2004 г. депутаты Госдумы отклонили представленный проект технического регламента по электробезопасности.

Федеральным законом «О техническом регулировании» определено, что в течение семи лет все государственные стандарты в России должны быть заменены на технические регламенты.

1.4. Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током

В ПУЭ (7-е изд.) [14] в разделе 1.1.13 определены в отношении опасности поражения людей электрическим током следующие классы помещений.

1) Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2) Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость (относительная влажность более 75%) или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

Пыльные помещения — помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п.

Жаркие помещения — помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С (например, помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

3) Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особая сырость;
- химически активная или органическая среда;
- одновременно два или более условий повышенной опасности.

Особо сырые помещения — помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Помещения с химически активной или органической средой — помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

4) Территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Следует отметить, что в новом, 7-ом издании ПУЭ [14] предъявляются значительно более жесткие требования к электроустановкам по условию обеспечения необходимого уровня электробезопасности.

Согласно п. 1.7.53 защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12 В переменного и 30 В постоянного при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока во всех случаях.

1.5. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками

При выборе оборудования и определении места его установки очень важно обеспечить соответствие степени защиты корпуса внешним условиям эксплуатации прибора. Корпус любого прибора автоматики должен одновременно удовлетворять двум требованиям защиты:

- обеспечивать электробезопасность обслуживающего персонала,
- защищать электронные элементы, расположенные в корпусе, от воздействий окружающей среды.

International Protect (IP) — система кодификации, применяемая для обозначения степеней защиты, обеспечиваемых оболочкой, от доступа к опасным частям, попадания внешних твердых предметов, воды, а также для предоставления дополнительной информации, связанной с такой защитой.

Код *IP* несет информацию о защите обслуживающего персонала от поражения электрическим током и о степени защиты расположенных внутри электронных элементов от проникновения пыли и воды. Он кодируется двухзначным числом, каждая из цифр которого указывает степень допустимого воздействия фактора.

Первая цифра указывает защиту от проникновения посторонних предметов внутрь, вторая цифра характеризует защиту от жидкостей.

Удобство норматива *IP* признано во всем мире, он используется гораздо чаще, чем ссылки на национальные стандарты. В настоящее время норматив *IP* активно используется и в России. На корпусах приборов многих фирм указывается степень защиты с помощью букв *IP* и последующих двух цифр, например *IP65*.

В ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) [15] дана система классификации степеней защиты, обеспечиваемой оболочками электрооборудования (табл. 1.6).

Элементы кода IP и их обозначения

Первая цифра	Краткое наименование	Характеристики защиты
0	Без защиты	Открытая конструкция, отсутствие какой-либо защиты от пыли, от прикосновения персонала к токоведущим частям
1	Защита от крупных предметов диаметром более 50 мм	Защита от проникновения в конструкцию крупных предметов — шар диаметром 50 мм не должен проникать внутрь. Частичная защита от случайного касания токоведущих частей человеком (защита от касания ладонью)
2	Защита от предметов среднего размера (диаметром не менее 12,5 мм)	Защита конструкции от проникновения внутрь предметов среднего размера — шар диаметром более 12,5 мм не должен проникать внутрь. Защита от прикосновения пальцами к токоведущим частям
3	Защита от твердых предметов диаметром не менее 2,5 мм	Защита конструкции от проникновения внутрь предметов среднего размера — шар диаметром 2,5 мм не должен проникать внутрь. Защита персонала от случайного касания токоведущих частей инструментом или пальцами
4	Защита от песка (твердых предметов диаметром не менее 1,0 мм)	В конструкцию не должны попадать предметы диаметром более 1 мм — шар диаметром 1,0 мм не должен проникать внутрь. Конструкция защищает от прикосновения к токоведущим частям пальцами или инструментом
5	Защита от пыли	Пыль может проникать в корпус в незначительном количестве, не препятствующем нормальной работе оборудования. Полная защита от прикосновения к токоведущим частям оборудования
6	Пыленепроницаемая защита	Попадание пыли внутрь конструкции исключено

Вторая цифра	Краткое наименование	Характеристики защиты
0	Без защиты	Защита отсутствует
1	Защита от капель, падающих вертикально	Капли воды, падающие вертикально, не могут вызвать опасных последствий для оборудования
2	Защита от капель, падающих под углом	Капли воды, падающие на оборудование под углом до 15°, не вызывают опасных последствий
3	Защита от брызг воды	Брызги воды, падающие на конструкцию под углом до 60°, не вызывают опасных последствий
4	Защита от обрызгивания	Брызги воды, направленные на изделие с любого направления, не вызывают опасных последствий
5	Защита от водных струй	Струи воды, например из шланга, не причиняют вреда размещенному в корпусе оборудованию
6	Защита от залива водой	Залив оборудования водой, например, на палубе корабля, не приводит к повреждению оборудования
7	Защита при временном погружении в воду	Корпус может быть полностью погружен в воду, что не приводит к повреждению размещенного в корпусе оборудования
8	Защита при длительном погружении в воду	Конструкция выдерживает без последствий погружение в воду на определенную глубину (защита от воды под давлением, причем давление указывается специально)

Стандарт предусматривает кодировку дополнительной информации с помощью дополнительных и вспомогательных букв, располагаемых за второй характеристической цифрой или после дополнительной буквы. В табл. 1.7 приведены значения дополнительных и в табл. 1.8 вспомогательных букв кода IP.

Значения вспомогательных букв кода IP

Дополнительная буква	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
A	Защищено от доступа тыльной стороной руки	Щуп доступности (сфера диаметром 50 мм) должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
B	Защищено от доступа пальцем руки	Шарнирный испытательный палец диаметром 12 мм и длиной 80 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
C	Защищено от доступа инструментом	Щуп доступности диаметром 3,5 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
D	Защищено от доступа проволокой	Щуп доступности диаметром 1,0 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей

IP3XD— опущена вторая характеристическая цифра, использована одна дополнительная буква;

IP23S— использована одна вспомогательная буква;

IP21CM— использованы одна дополнительная и одна вспомогательная буквы;

Примеры использования букв в коде IP.

IPXX— отсутствие цифр, отсутствие дополнений;

IPX5— опущена первая характеристическая цифра;

IP2X— опущена вторая характеристическая цифра;

IP20C— использована одна дополнительная буква;

IPXXC— опущены обе характеристические цифры, использована одна дополнительная буква;

IPX1C— опущена первая характеристическая цифра, использована одна дополнительная буква;

IPX5/IPX7— обозначение двух степеней защиты одной оболочки двойного использования: защита от действия струй и защита от временного (непродолжительного) погружения.

Таблица 1.8

Значения вспомогательных букв кода IP

Буква	Значение
H	Высоковольтные аппараты
M	Испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды: оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии движения
S	Испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды: оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии неподвижности
W	Буква не используется

Например, по условиям электробезопасности устройство класса *IP40* имеет высокую степень защиты, однако не защищено от попадания воды. Приборы класса не ниже *IP54* допускается устанавливать на морских судах.

Следует отметить, что нормативами IP не учитывается защита от агрессивных сред и специальное применение оборудования, для которых существуют специальные стандарты.

1.6. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током

В ГОСТ Р МЭК 536-94 «Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током» [16], являющемся аутентичным переводом международного стандарта МЭК 536-76 и введенном в действие 11.03.94, электротехническое и электронное оборудование классифицируется по способу защиты от поражения электрическим током.

Классификация распространяется на оборудование, предназначенное для присоединения к источнику питания при напряжении до 440 В между фазными проводниками (или 250 В между фазными проводниками и землей), используемое потребителем в быту, в учреждениях, в мастерских, в школах, на фермах и т.п..

Стандарт ГОСТ Р МЭК 536-94 устанавливал разделение оборудования на 4 класса—0, I, II и III. Данное разделение на классы отражало не уровень безопасности оборудования, а лишь указывало на то, каким способом реализована защита от поражения электрическим током.

Оборудование класса 0.

Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией; при этом отсутствует электрическое соединение открытых проводящих частей, если таковые имеются, с защитным проводником стационарной проводки. При пробое основной изоляции защита должна обеспечиваться окружающей средой (воздух, изоляция пола и т. п.).

Оборудование класса I.

Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и соединени-

ем открытых проводящих частей, доступных прикосновению, с защитным проводником стационарной проводки.

Открытые проводящие части, доступные прикосновению, не могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции после срабатывания соответствующей защиты.

Оборудование класса II.

Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается применением двойной или усиленной изоляции. При этом отсутствуют средства защитного заземления и защитные свойства окружающей среды не используются в качестве меры обеспечения безопасности.

Оборудование класса III.

Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током основана на питании от источника безопасного сверхнизкого напряжения и в котором не возникают напряжения выше безопасного сверхнизкого напряжения.

Введенный в действие с 01.07.2002 ГОСТ Р МЭК 60536-2-2001 [17] был разработан на основе стандарта МЭК 60536-2 1992 г.

Концепция стандарта основана на двух принципах:

1) Следует различать следующие виды опасности поражения электрическим током:

— опасность прикосновения к токоведущим частям, когда человек одновременно находится в контакте с потенциалом земли или другой токоведущей частью отличного потенциала (прямое прикосновение);

— опасность прикосновения к открытой проводящей части электрического оборудования, которая находится под напряжением вследствие повреждения изоляции, когда в этот момент человек находится в контакте с потенциалом земли или с другой проводящей частью отличного потенциала, например с другой открытой проводящей частью или сторонней проводящей частью (косвенное прикосновение).

Оба вида опасности соответствуют основному правилу защиты от поражения электрическим током: *опасные токи*

ведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть опасными в нормальных условиях работы и при наличии неисправности.

2) Каждая составная часть электрического оборудования обеспечена тем же видом защиты от поражения электрическим током, который принят для электроустановки в целом.

Защита от поражения электрическим током может быть обеспечена окружающей средой, самим оборудованием, системой питания или соответствующими комбинациями мер защиты.

Защита от косвенного прикосновения обеспечивается следующими мерами: применением основной защиты, которая обеспечивает защиту от поражения электрическим током, и дополнительной защиты, которая обеспечивает защиту от поражения электрическим током в случае отказа основной защиты.

Дополнительная защита может быть обеспечена соответствующей конструкцией оборудования (класс II) или мерами, обеспечивающими защиту при монтаже установки (как для классов 0, I, III) или специальной комбинацией этих мер защиты.

В ГОСТ Р МЭК 60536-2-2001 [17] применены термины, соответствующие определениям ГОСТ Р МЭК 536, а также следующие:

• **Защитное соединение.**

Электрическое соединение открытых проводящих частей оборудования и/или защитного экранирования с внешним защитным проводником, обеспечивающее непрерывность электрической цепи.

• **Защитное экранирование.**

Отделение электрических цепей и (или) проводников от опасных токоведущих частей с помощью защитного экрана, подсоединенного к защитной системе, обеспечивающей уравнивание потенциалов, предназначенного для защиты человека от поражения электрическим током.

• **Защитное разделение.**

Отделение одной электрической цепи от другой методом:

— двойной изоляции;

— основной изоляции и защитного экранирования;

— усиленной изоляции.

Международные стандарты МЭК 60536-76 и МЭК 60536-2-2001 в 1999 г. были заменены стандартом МЭК 61140.

Аналогично, в Российской Федерации 01.01.2000 г. был введен в действие ГОСТ Р МЭК 61140-2000 [11], но без указания о введении данного стандарта взамен стандартов ГОСТ Р МЭК 536-94 и ГОСТ Р МЭК 60536-2-2001.

Определения классов защиты, приведенные в ГОСТ Р МЭК 61140-2000, несколько отличаются от аналогичных определений более ранних стандартов, поэтому они приведены ниже:

• **Электрооборудование класса защиты 0**

Электрооборудование с основной изоляцией в качестве меры для основной защиты, не предусматривающее меры защиты при наличии неисправности.

• **Электрооборудование класса защиты I**

Электрооборудование с основной изоляцией в качестве меры основной защиты и уравнивание потенциалов в качестве защиты при наличии неисправности.

• **Электрооборудование класса II**

Электрооборудование с использованием:

— основной изоляции в качестве меры основной защиты и

— дополнительной изоляции в качестве меры защиты при наличии неисправности, или в котором:

— основная защита и защита при наличии неисправности обеспечиваются усиленной изоляцией.

• **Электрооборудование класса защиты III**

Электрооборудование, в основе которого лежит ограничение напряжения сверхнизкими значениями в качестве меры основной защиты, а не меры защиты при наличии неисправности.

Согласно ПУЭ [14] (п.1.7.87, табл. 1.7.3) при выполнении мер защиты в электроустановках до 1 кВ классы применяемого оборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током следует принимать согласно табл. 1.9.

Таблица 1.9

Классы оборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током

Класс по ГОСТ Р 12.2.007.0 МЭК 536	Маркировка	Назначение защиты	Условия приемки электрооборудования в электроустановке
Класс 0	—	Нет	1. Применение в непроводящих помещениях 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприемника
Класс I	Защитный зажим — знак  или буквы PE, или желто-зеленые полосы	При косвенном прикосновении	Присоединение заземляющего зажима электрооборудования к защитному проводнику электроустановки
Класс II	Знак 	При косвенном прикосновении	Независимо от мер защиты, принятых в электроустановке
Класс III	Знак 	От прямого и косвенного прикосновений	Питание от безопасного разделительного трансформатора

Примечание: ГОСТ 12.2.007.0-75 [86], на который дана ссылка в ПУЭ, устанавливает пять классов защиты по способу защиты человека от поражения электрическим током: 0; 0I; I; II; III.

К классу 0 должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III.

К классу 0I должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания.

К классу I должны относиться изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

К классу II должны относиться изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления.

К классу III следует относить изделия, предназначенные для работы при безопасном сверхнизком напряжении, не имеющие ни внешних, ни внутренних электрических цепей, работающих при другом напряжении.




Изделия, получающие питание от внешнего источника, могут быть отнесены к классу III только в том случае, если они присоединены непосредственно к источнику питания, преобразующему более высокое напряжение, что осуществляется посредством разделительного трансформатора или преобразователя с отдельными обмотками.

При использовании в качестве источника питания разделительного трансформатора или преобразователя его входная и выходная обмотки не должны быть электрически связаны и между ними должна быть двойная или усиленная изоляция.

Основные знаки соответствия продукции (осветительных приборов) нормам европейских стран

Знак	Значение
	Класс защиты I: защиту от пробоя обеспечивает не только рабочая изоляция, но и заземление токопроводящих, доступных для прикосновения частей гибким проводником со стороны питающей сети. Клемма для подсоединения защитного заземления обозначается символом 
	Класс защиты II: двойная или усиленная изоляция — токоведущие части снабжаются дополнительной защитной изоляцией. Подсоединение заземления запрещается
	Класс защиты III: защита обеспечивается подключением осветительных приборов к системе питания безопасным сверхнизким напряжением (SELV — Safety Extra Low Voltage)
	Светильники с ограниченной температурой наружной поверхности корпусов и других элементов; использование такого оборудования необходимо в производственных помещениях, где возможно выделение и осаждение горючей пыли или возгораемых волокон
	Знак для электротехнических компонентов аппаратуры (трансформаторов, ПРА) с температурной защитой. В треугольнике обозначается максимально допустимая и ограничиваемая температура корпуса (в градусах Цельсия)
	Светильники и другие осветительные приборы с этим знаком защищены от проникновения капель (степень защиты IPX1 — от капель, падающих вертикально, IPX2 — от попадания капель, падающих сверху под углом 15° к вертикали)
	Светильники защищены от попадания капель или брызг, падающих сверху под углом к вертикали < 60 °С, соответствуют степени защиты IPX3 (дождезащитные осветительные приборы)
	Брызгозащищенные светильники (степень защиты IPX4); защита от капель или брызг, падающих под любым углом. Пылезащищенные светильники (степень защиты IP5X)

Основные знаки соответствия продукции (осветительных приборов) нормам европейских стран

Знак	Значение
	Пылеурызгозащищенные светильники (степень защиты IP55, защита от струй, падающих под любым углом)
	Пыленепроницаемые и струезащищенные светильники (степень защиты IP65)
	Пылебрызгозащищенные светильники (степень защиты IP54)

1.7. Схемы электроустановок зданий

В настоящее время в нашей стране активно ведется работа по повышению уровня электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий.

Важнейшим аспектом этой работы является усовершенствование и упорядочивание требований нормативных документов, особенно в области стандартизации устройства электроустановок.

С целью расширения области применения электрооборудования класса защиты I по электробезопасности и с учетом решения «О развитии нормативной базы для безопасного применения электрооборудования класса защиты I по электробезопасности в электроустановках зданий», утвержденного Госстроем России, Госстандартом России и Минтопэнерго России (09.08.93), Департамент электроэнергетики и Главгос-энергонадзор Минтопэнерго России приняли решение о внесении изменений в гл. 7.1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ, 6-е изд., 1986 г. [13]) «Электрооборудование жилых и общественных зданий».

В п. 2 этого решения указывалось:

Ввести дополнительный абзац в п. 7.1.33: «В жилых и общественных зданиях линии групповой сети, прокладываемые

от групповых щитков до штепсельных розеток, должны выполняться трехпроводными (фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники). Питание стационарных однофазных электроприемников следует выполнять трехпроводными линиями. При этом нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не следует подключать на щитке под один контактный зажим».

Таким образом, был сделан первый шаг по внедрению в России в электроустановках жилых и общественных зданий системы заземления *TN-C-S*.

В ПУЭ 7-го издания [14] требования к выполнению групповых сетей сформулированы следующим образом (п.п. 7.1.13, 7.1.36, 7.1.45):

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

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

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

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

Сечения проводников должны отвечать требованиям п. 7.1.45 с учетом поправочных коэффициентов (глава 1.3 ПУЭ 6-го изд. [13]).

п. 7.1.45. Выбор сечения проводников следует проводить согласно требованиям соответствующих глав ПУЭ.

Однофазные двух- и трехпроводные линии, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании однофазных нагрузок, должны иметь сечение нулевых рабочих *N*-проводников, равное сечению фазных проводников.

Трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании трехфазных симметричных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих *N*-проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм² по меди и 25 мм² по алюминию, а при больших сечениях — не менее 50 % сечения фазных проводников, но не менее 16 мм² по меди и 25 мм² по алюминию.

Сечение *PEN*-проводников должно быть не менее сечения *N*-проводников и не менее 10 мм² по меди и 16 мм² по алюминию независимо от сечения фазных проводников.

Сечение *PE*-проводников должно равняться сечению фазных при сечении последних до 16 мм², 16 мм² при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм² и 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Сечение *PE*-проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее 2,5 мм² — при наличии механической защиты и 4 мм² — при ее отсутствии.

В январе 1995 г. был введен в действие комплекс стандартов ГОСТ Р 50571 «Электроустановки зданий», разработанный на основе стандартов Международной электротехнической комиссии. Данный комплекс стандартов содержит требования по проектированию, монтажу, наладке и испытанию электроустановок, выбору электрооборудования.

1.7.1. Системы заземления

Система заземления является общей характеристикой питающей электрической сети и электроустановки здания.

Классификация систем заземления представлена в п. 312.2 ГОСТ Р 50571.2-94 [18].

В главе 1.7. ПУЭ 7-го издания [14] дана классификация электроустановок в отношении применяемых систем заземления, соответствующая вышеуказанному стандарту.

Пункт 1.7.3. Для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

система TN — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;

система TN-C — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;

система TN-S — система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;

система TN-C-S — система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания;

система IT — система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены;

система TT — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

Вышеперечисленные системы для сетей переменного тока представлены на рис. 1.11–1.18. Условные обозначения систем расшифровываются следующим образом.

Первая буква — характер заземления источника питания:

T — непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

I — все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква — характер заземления открытых проводящих частей электроустановки:

T — непосредственная связь открытых проводящих частей с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;

N — непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источника питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль).


Последующие буквы (если таковые имеются) — устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:


S — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются отдельными проводниками.

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

Приняты следующие графические обозначения проводников:

N —  — нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

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

PEN —  — совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

Международная электротехническая комиссия — МЭК (*IEC*) в течение многих лет ведет работу по унификации национальных электротехнических правил.

Стандарты МЭК носят рекомендательный характер и признаны практически во всех странах Европы и частично в США, Канаде, Японии. Одним из важных достижений работы МЭК по унификации правил является разработка единой системы электрозщитных мероприятий, в частности, системы защитного заземления — *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT* и *IT* сети.

Ранее во всем мире — от Америки до Австралии применялась система защиты, основанная на соединении нетоковедущих проводящих частей (корпусов) оборудования с землей и заземленной нейтралью источника.

Называлась эта система традиционно «защитное зануление» в России, «*Nullung*» в Германии и Австрии, *PME* (*protective multiple earthing*) в Англии, *MEN* (*multiple earthed neutral*) в Австралии и т.д.

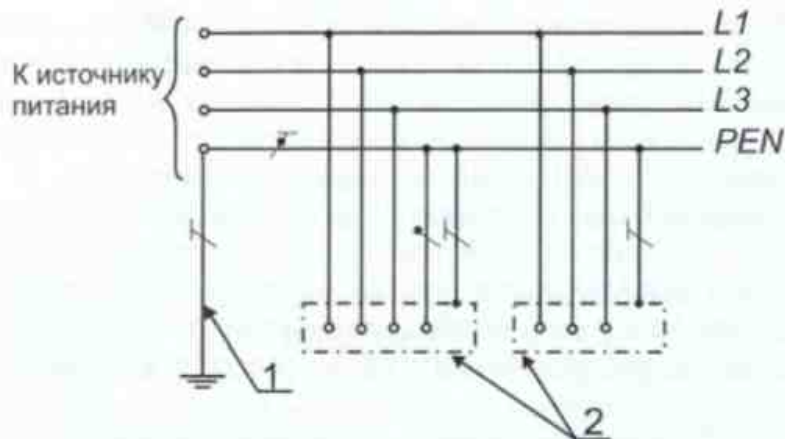


Рис. 1.11. Система TN-C переменного тока

1 — заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
2 — открытые проводящие части.

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике.

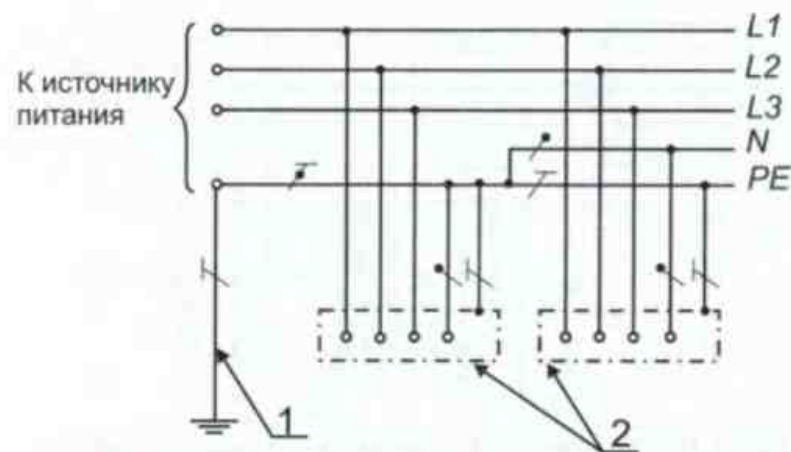


Рис. 1.13. Система TN-C-S переменного тока

1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части.

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы.

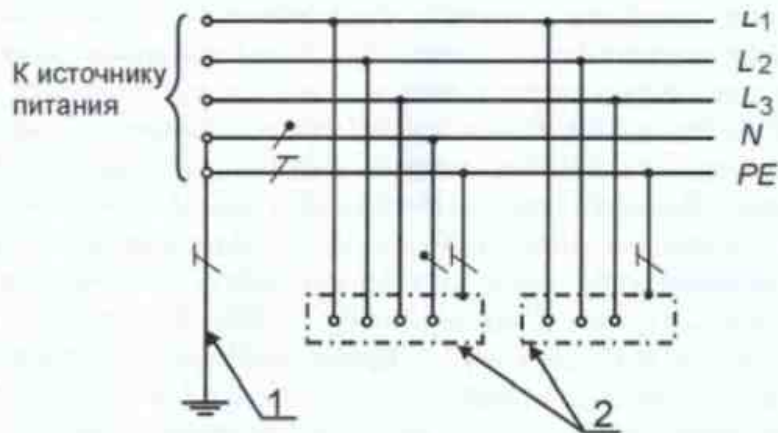


Рис. 1.12. Система TN-S переменного тока

1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части.

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены.

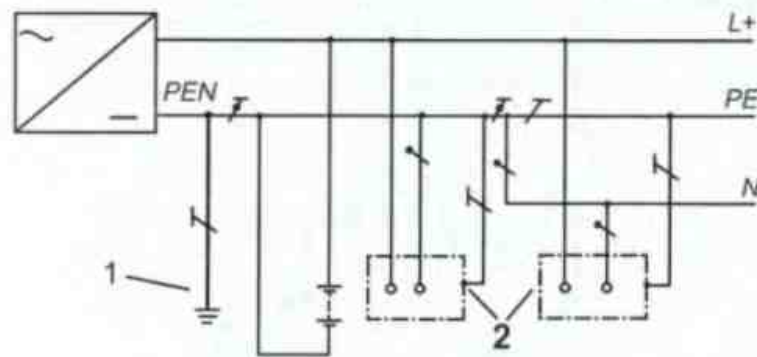


Рис. 1.14. Система TN-C-S постоянного тока. Система А

1 — заземлитель одного из полюсов источника постоянного тока;
2 — открытые проводящие части.

Функции заземленного линейного (фазного) проводника, в данном случае $L-$, и защитного проводника PE совмещены в одном проводнике PEN в части системы.

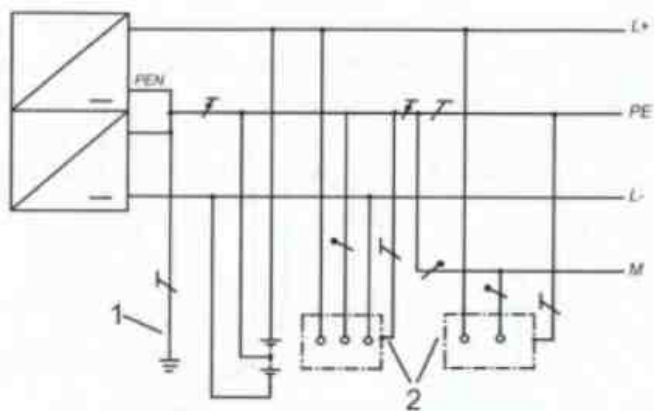


Рис. 1.15. Система TN-C-S постоянного тока. Система В

1 — заземлитель одного из полюсов источника постоянного тока;
2 — открытые проводящие части.

Функции заземленного среднего проводника *M* и защитного проводника *PE* совмещены в одном проводнике *PEN* в части системы.

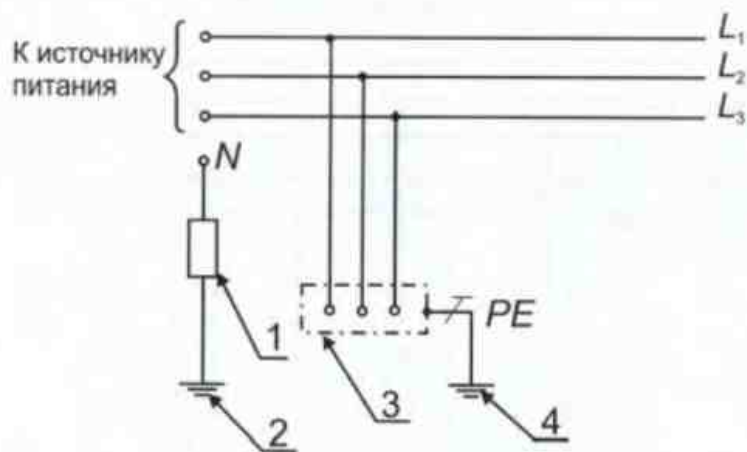


Рис. 1.16. Система IT переменного тока

1 — сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется); 2 — заземлитель; 3 — открытые проводящие части;
4 — заземляющее устройство.

Открытые проводящие части электроустановки заземлены. Нейтраль источника изолирована от земли или заземлена через большое сопротивление.

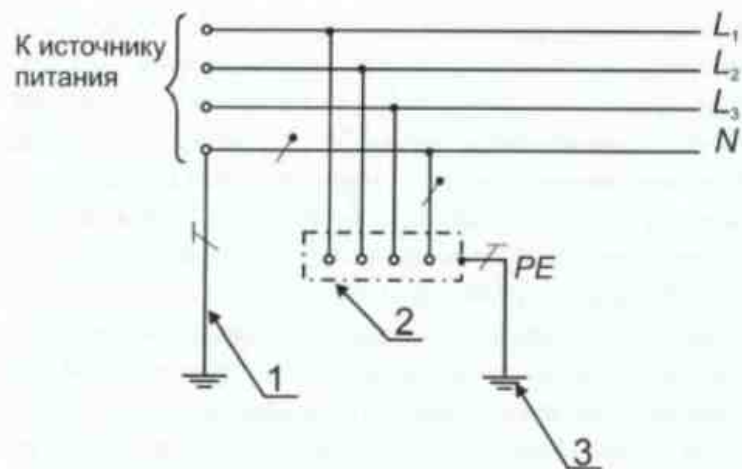


Рис. 1.17. Система TT переменного тока. Вариант 1

1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части; 3 — заземлитель открытых проводящих частей.
Открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали.

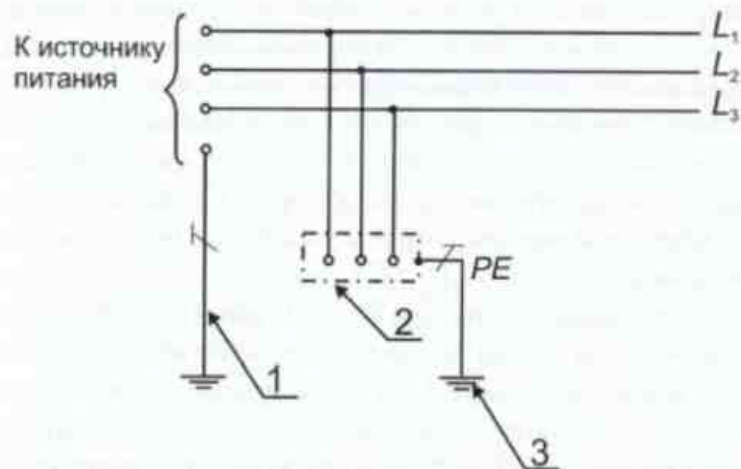


Рис. 1.18. Система TT переменного тока. Вариант 2

1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части; 3 — заземлитель открытых проводящих частей.
Открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали.

Принцип действия защитной системы основан на достижении за счет многократного заземления и соединения нетоковедущих частей с нейтралью источника «нулевого» потенциала на корпусе, т.е. равного потенциалу земли. Защитное зануление, несмотря на ряд недостатков, долгие годы служило основным электрозащитным средством в миллионах электроустановок во всем мире и, безусловно, спасло многие и многие человеческие жизни.

Технический прогресс, модернизация электрооборудования, бурное развитие электротехнической промышленности, в частности, появление современных автоматических выключателей со свойствами ограничения тока КЗ, чувствительных и надежных устройств защитного отключения и др. продиктовали новые требования по обеспечению электробезопасности при эксплуатации электроустановок промышленного, социально-бытового, специального назначения. МЭК разработала вышеупомянутую систему электрозащитных мероприятий и вместо старого доброго «зануления» появился комплекс мероприятий под названием «защита с помощью автоматического отключения источника питания». При этом защитное зануление, до сих пор действующее в огромном количестве электроустановок, не исчезло, оно осталось, но в рамках новых правил его следует рассматривать лишь как применяемую в определенных случаях составную часть данного комплекса.

Системы *TN-S* (рис. 1.12) и *TN-C-S* (рис. 1.13–1.15) широко применяются в европейских странах — Германии, Австрии, Франции и др. В системе *TN-S* все открытые проводящие части электроустановки здания соединены отдельным нулевым защитным проводником *PE* непосредственно с заземляющим устройством источника питания.

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

В системе *TN-C-S* (рис. 1.13) во вводно-распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник *PEN* разделен на нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники.

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

Наиболее перспективной для нашей страны является система *TN-C-S*, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

Для примера приведены системы *TN-C-S* постоянного тока (рис. 1.14 и 1.15). В заземленных системах сетей постоянного тока должна учитываться электрохимическая коррозия заземлителя. Решение о заземлении положительного или отрицательного полюса должно основываться на конкретных условиях работы установки.

Важное примечание!

В электроустановках с системами заземления *TN-S* и *TN-C-S* электробезопасность потребителя обеспечивается не соединением токопроводящих частей оборудования с заземляющим устройством, а действием защиты — автоматического отключения источника питания, в первую очередь устройствами защитного отключения — УЗО. При этом, УЗО действует более эффективно в комплексе с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов.

Собственно сами системы заземления — без УЗО, не обеспечивают необходимой безопасности.

Например, при пробое изоляции на корпус электроприбора или какого-либо аппарата, при отсутствии УЗО отключение этого потребителя от сети осуществляется устройствами защиты от сверхтоков — автоматическими выключателями или плавкими вставками.

Быстродействие устройств защиты от сверхтоков, во-первых, уступает быстродействию УЗО, а, во-вторых, зависит от многих факторов — кратности тока КЗ, которая в свою очередь определяется сопротивлением фазных и нулевых проводников, переходным сопротивлением в месте повреждения изоляции, длиной линий, точностью калибровки автоматических выключателей, и др.

Наличие на объекте металлических корпусов, арматуры и пр., соединенных с PE-проводником, повышает опасность электропоражения, поскольку в этом случае вероятность образования цепи: «токоведущий проводник — тело человека — земля» гораздо выше. Только УЗО способно защитить человека от поражения при прямом прикосновении.

Внедрение систем TN-S и TN-C-S в европейских странах, к опыту которых мы вынуждены постоянно обращаться, поскольку там рассматриваемые проблемы решались двумя десятилетиями раньше, также проходило с большими трудностями. Например, в литературе описан случай, когда электромонтер при монтаже электропроводки одного объекта ошибочно подключил фазу на защитный проводник, что повлекло за собой смертельное поражение нескольких человек [27].

В плане обеспечения условий электробезопасности при эксплуатации электроустановки серьезной альтернативой вышерассмотренным системам заземления является сравнительно новое, но все более широко применяемое эффективное электрозащитное средство — двойная изоляция.

Достижения химической промышленности в области производства пластиков и керамик, имеющих великолепные механические и электроизоляционные характеристики, позволили значительно расширить ассортимент электробезопасных электроприборов и электроинструментов в исполнении «двойная изоляция», при применении которых тип системы заземления в плане обеспечения условий электробезопасности не имеет принципиального значения.

Изделия в исполнении «двойная изоляция» маркируются знаком □.

1.7.2. Устройство системы TN-C-S в системе TN-C

Следует особо рассмотреть правила выполнения системы TN-C-S в системе TN-C.

Разделение совмещенного PEN-проводника на нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники выполняется во вводно-распределительном устройстве здания или, в некоторых случаях, на вводе отдельной электроустановки, например, квартиры.

В ПУЭ (7-е изд.) [14] в п. 7.1.36 указывается: «...Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать под общий контактный зажим».

Смысл этого требования заключается в необходимости в целях обеспечения условий электробезопасности сохранения соединения защитного проводника (PE-проводника) с заземлением в случае разрушения (выгорания) контактного соединения PEN и N-проводников.

На рис. 1.19, 1.20 показаны примеры выполнения этого подключения — в этажном или квартирном щитках.

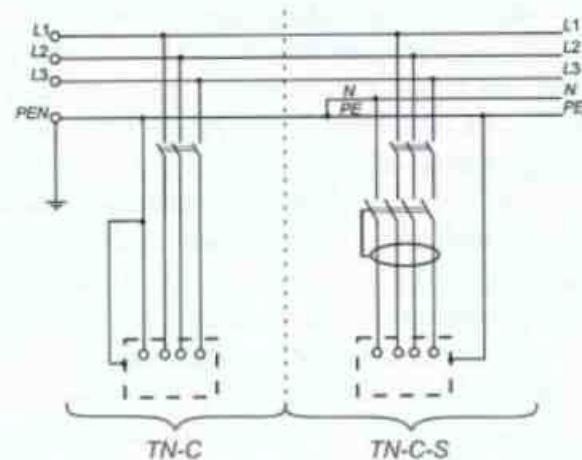


Рис. 1.19. Выполнение системы заземления TN-C-S

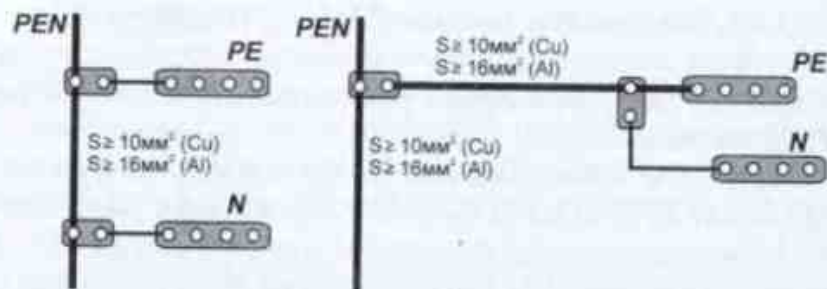


Рис. 1.20. Примеры выполнения подключения проводников PE и N к PEN-проводнику

1.7.3. Система уравнивания потенциалов

Важное значение для обеспечения условий электробезопасности в конкретной электроустановке имеет выполнение системы уравнивания потенциалов.

Правила выполнения системы уравнивания потенциалов определены стандартом ГОСТ Р 50571.3-94 (МЭК 364-4-41-92) [12] и пп. 1.7.82, 1.7.83, 7.1.87, 7.1.88 ПУЭ 7-го изд. [14]. Эти правила предусматривают подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине (рис. 1.21).

Такое решение позволяет избежать протекания различных непредсказуемых циркулирующих токов в системе заземления, вызывающих возникновение разности потенциалов на отдельных элементах электроустановки.

На рис. 1.22 приведен пример выполнения системы уравнивания потенциалов в электроустановке жилого дома.

ПУЭ (7-е изд.) [14] пп. 7.1.87, 7.1.88 предписывают устройство основной системы и системы дополнительного уравнивания потенциалов следующим образом:

п. 7.1.87. На вводе в здание должна быть выполнена система уравнивания потенциалов путем объединения следующих проводящих частей:

- основной (магистральный) защитный проводник;

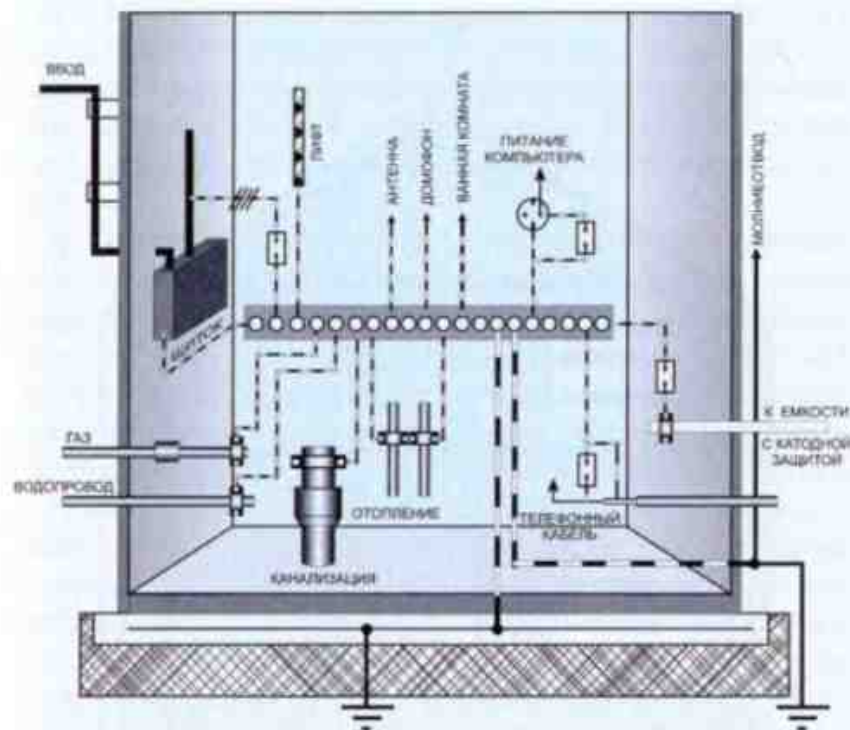


Рис. 1.21. Пример выполнения системы уравнивания потенциалов

- основной (магистральный) заземляющий проводник или основной заземляющий зажим;
- стальные трубы коммуникаций зданий и между зданиями;
- металлические части строительных конструкций, молниезащиты, системы центрального отопления, вентиляции и кондиционирования.

Такие проводящие части должны быть соединены между собой на вводе в здание.

Рекомендуется по ходу передачи электроэнергии повторно выполнять дополнительные системы уравнивания потенциалов.

п. 7.1.88. К дополнительной системе уравнивания потенциалов должны быть подключены все доступные прикосновению открытые проводящие части стационарных электроустановок, сторонние проводящие части и нулевые защитные проводники всего электрооборудования (в том числе штепсельных розеток).

Для ванн и душевых помещений дополнительная система уравнивания потенциалов является обязательной и должна предусматривать, в том числе, подключение сторонних проводящих частей, выходящих за пределы помещений. Если отсутствует электрооборудование с подключенными к системе уравнивания потенциалов нулевыми защитными проводниками, то систему уравнивания потенциалов следует подключить к PE-шине (зажиму) на вводе. Нагревательные элементы, замоноличенные в пол, должны быть покрыты заземленной металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, подсоединенными к системе уравнивания потенциалов. В качестве дополнительной защиты для нагревательных элементов рекомендуется использовать УЗО на ток 30 мА.

Не допускается использовать для саун, ванн и душевых помещений системы местного уравнивания потенциалов.

В ПУЭ (7-е изд.) [14] пп. 1.7.82, 1.7.83 предписывают устройство основной системы и системы дополнительного уравнивания потенциалов следующим образом:

п. 1.7.82. **Основная система** уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

- 1) нулевой защитный PE или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- 2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;
- 3) заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

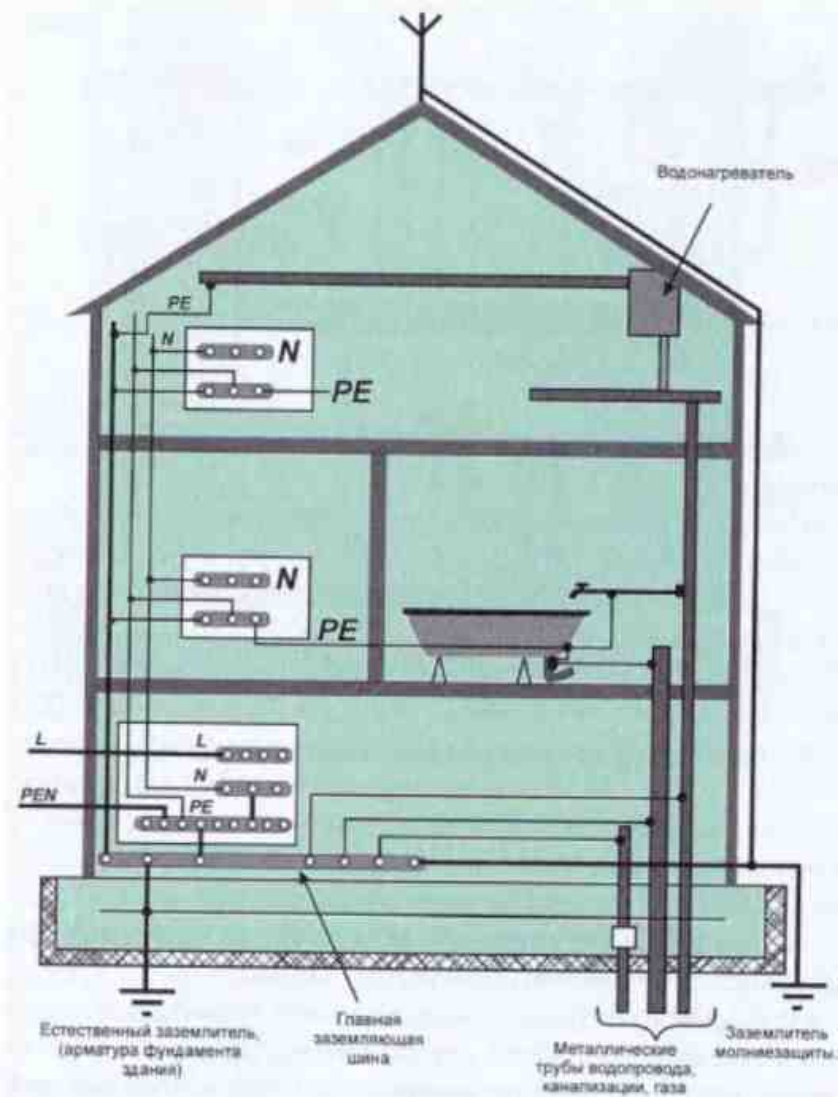


Рис. 1.22. Пример выполнения уравнивания потенциалов в системе TN-C-S

4) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.

Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

5) металлические части каркаса здания;

6) металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования.

При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине *PE* щитов питания вентиляторов и кондиционеров;

7) заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий;

8) заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

9) металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

п. 1.7.83. Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические

части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе *TN* и защитные заземляющие проводники в системах *IT* и *TT*, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники, либо открытые и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям п. 1.7.122 ПУЭ [14] к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

В последнее время, с повышением оснащенности современных жилых домов и производственных зданий различными электроприборами и постоянным развитием их электроустановок все чаще стали наблюдаться явления ускоренной коррозии трубопроводов систем водоснабжения и отопления.

За короткое время — от полугода до двух лет на трубах как подземной, так и воздушной прокладки образуются точечные свищи, быстро увеличивающиеся в размерах.

Причиной ускоренной точечной (питтинговой) коррозии труб в 98 % случаев является протекание по ним блуждающих токов [19, 20].

Применение УЗО в комплексе с правильно выполненной системой уравнивания потенциалов позволяет ограничить и даже исключить протекание токов утечки, блуждающих токов по проводящим элементам конструкции здания, в том числе и по трубопроводам.

2. УЗО — ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЕ И ЭЛЕКТРОЗАЩИТНОЕ СРЕДСТВО

2.1. Назначение устройств защитного отключения

Устройство защитного отключения (УЗО) — современное, высокоэффективное, во многих случаях безальтернативное средство защиты человека от поражения электрическим током. УЗО также осуществляют защиту электроустановок от возгораний и пожаров, возникающих вследствие протекания токов утечки.

Наряду с устройствами защиты от сверхтока, УЗО относят к дополнительным видам защиты человека от поражения электрическим током, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

Защита автоматическим отключением питания в варианте защитного зануления обеспечивает защиту человека при косвенном прикосновении — путем отключения автоматическими выключателями или предохранителями поврежденного участка цепи при замыкании на корпус.

При малых токах замыкания, большом сопротивлении петли «фаза-ноль», а также при обрыве нулевого проводника зануление действует недостаточно эффективно, поэтому в этих случаях УЗО является единственным средством защиты человека от электропоражения.

В основе действия защитного отключения, как электрозащитного средства, лежит принцип ограничения (за счет

быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок (прямым прикосновением) или при прикосновении к проводящим нетоковедущим элементам оборудования, оказавшимся под опасным потенциалом при повреждении изоляции (косвенном прикосновении).

Из всех известных электрозащитных средств УЗО является единственным, обеспечивающим защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Другим не менее важным свойством УЗО является его способность осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих на объектах вследствие возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования.

По данным ФГУ ВНИИПО МЧС России [21] в 2005 г. на территории России было зарегистрировано 226 952 пожара. Количество погибших на пожарах людей составило 18 194 человека. При этом каждый пятый пожар (19,4%) произошел в результате нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, а доля причиненного ими ущерба составила 21,8%.

Ежегодно в России по электротехническим причинам происходит около 50 000 пожаров, что составляет 20 ... 25% от общего числа пожаров. В 2003 г. в Российской Федерации по причине неисправности электроприборов или их неправильной эксплуатации произошло 47 810 пожаров (20% от общего числа пожаров), вследствие которых погибло 2742 человека (14,2%); прямой экономический ущерб составил 1,4 млрд. рублей. Необходимо отметить, что указанный материальный ущерб является прямым, то есть учитывается только стоимость сгоревших кабелей, помещений, имущества, но не учитывается косвенный ущерб от недовыпущенной продукции

из-за перерыва электроснабжения, недоотпуска электроэнергии. Эти потери значительно (в 5...8 раз) превышают прямой ущерб [22].

Поскольку КЗ, как правило, развиваются из дефектов изоляции, замыканий на землю, утечек тока на землю, УЗО, реагируя на ток утечки на землю или защитный проводник, заблаговременно, до развития тока утечки в КЗ, отключает электроустановку от источника питания, предотвращая тем самым недопустимый нагрев проводников, искрение, возникновение дуги и возможное последующее возгорание.

В отдельных случаях энергии, выделяемой в месте повреждения изоляции при протекании токов утечки, достаточно для возникновения очага возгорания и, как следствие, пожара.

По данным различных отечественных и зарубежных источников, локальное возгорание изоляции может быть вызвано довольно незначительной мощностью, выделяемой в месте утечки.

В зависимости от материала и срока службы изоляции эта мощность составляет всего 40...60 Вт. Это означает, что своевременное срабатывание УЗО противопожарного назначения с уставкой 300 мА предупредит выделение указанной мощности, и, следовательно, не допустит возгорания. Более подробно тема предупреждения возгораний рассмотрена в разделе 6.8.

Первое устройство для защиты человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к токоведущим частям электроустановки было запатентовано германской фирмой «RWE—Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG in Wesel» в 1928 г. Patentschrift № 552 678 от 08.04.28 (рис. 2.1) [23].

Из схемы (рис. 2.2) и описания изобретения следует, что принцип действия устройства основан на сравнении токов во всех трех фазах и в нулевом проводнике. Векторное сравнение токов осуществляется на сердечнике электромагнита, на котором намотаны обмотки, обтекаемые фазными токами и током



Рис. 2.1. Титульный лист германского патента № 552 678 на первое в истории электротехники устройство защиты от поражения человека электрическим током

нейтрали. Электромагнит управляет выключателем. В случае неравенства суммы токов нулю, т.е. при наличии утечки тока на землю, вызванной, например, прикосновением человека к токоведущим частям, и если значение тока утечки достаточно большое, электромагнит воздействует на спусковой механизм выключателя, разрывающего электрическую цепь.

При последующем развитии электрозщитных устройств принцип токовой дифференциальной защиты, ранее применявшийся для защиты оборудования— генераторов, линий, трансформаторов, был успешно применен для защиты человека от поражения электрическим током.

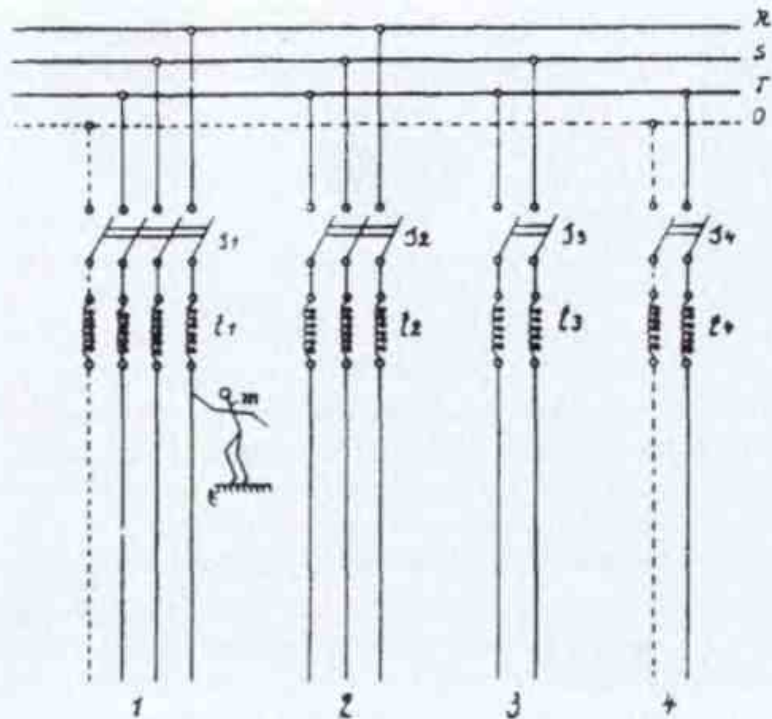


Рис. 2.2. Схема из патента № 552 678, поясняющая принцип защиты

В 1937 г. фирма «Schutzapparategesellschaft Paris & Co.» изготовила первое действующее устройство на базе дифференциального трансформатора и поляризованного реле, имевшее чувствительность 0,01 А и быстродействие 0,1 с. В том же году с помощью добровольца — сотрудника фирмы было проведено натурное испытание УЗО. Эксперимент закончился благополучно, устройство четко сработало, доброволец испытал лишь слабый удар электрическим током, хотя и отказался от участия в дальнейших опытах [24, 50].

Все последующие годы, за исключением военных и первых послевоенных, в европейских странах велась интенсивная работа по изучению действия электрического тока на организм

человека, разработке электротехнических средств и в первую очередь — совершенствованию и внедрению УЗО. В середине 50-х годов в Австрии, ФРГ, Франции началось массовое внедрение УЗО (независящих от напряжения питания — электро-механических) во все без исключения электроустановки — на производстве, в общественных зданиях, жилье.

На снимках (рис. 2.3 и 2.4) показаны одни из первых в мире серийно выпускавшихся УЗО — производства фирм «Spinnennetz» (в настоящее время «Schupa AG») и «ED» (в настоящее время «Doerpe GmbH»).

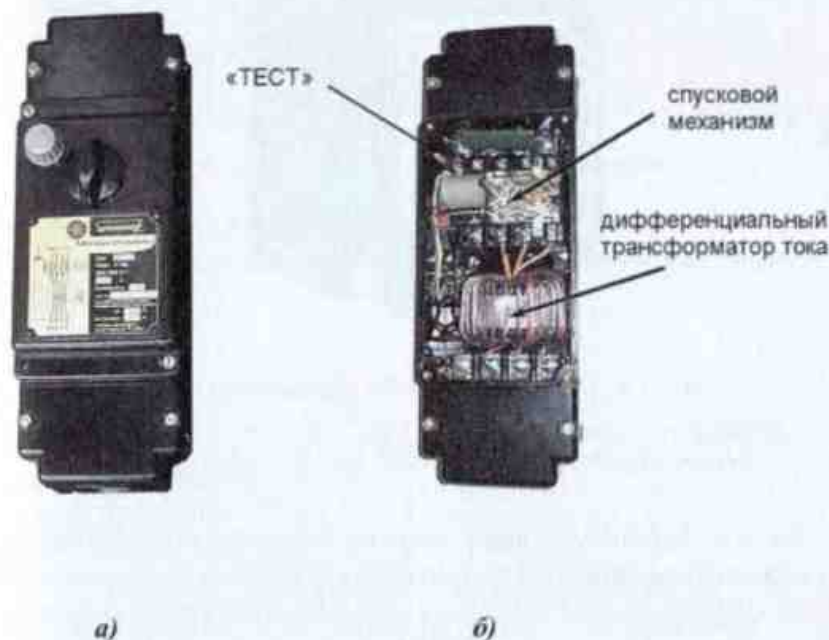


Рис. 2.3. УЗО фирмы «Spinnennetz» (Германия) FIB 25/4

Параметры: 4-х полюсное, $U_n = 380/220$ В, $I_n = 25$ А, $I_{\Delta n} = 1$ А, габаритные размеры: 270x91x91 мм, производства 1953 г., а) внешний вид; б) со снятой верхней крышкой



Рис. 2.4. УЗО фирмы «ED» (Германия) FI 15/2

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 380/220$ В, $I_n = 15$ А, $I_{\Delta n} = 0,5$ А, габаритные размеры: 200x70x60 мм, производства 1956 г.

Многочисленные статистические данные свидетельствуют о высокой эффективности применения УЗО как электрозащитного мероприятия — начиная с середины 70-х годов в европейских странах (рис. 2.5), в США, Японии (рис. 2.6) отмечено резкое снижение электротравматизма [6, 24, 25].

На снимках (рис. 2.7–2.20) для иллюстрации развития производства УЗО в Европе и Азии приведены фотографии ряда серийно выпускавшихся УЗО нескольких поколений.

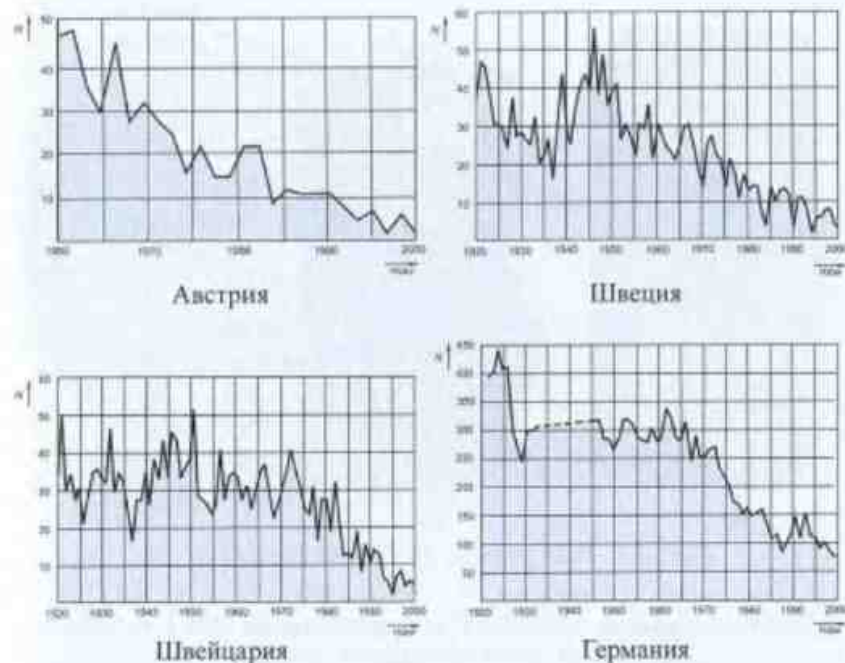


Рис. 2.5. Статистика поражений электрическим током со смертельным исходом (N) по ряду европейских стран



Рис. 2.6. Статистика поражений электрическим током со смертельным исходом (N) по США и Японии



а) б)
Рис. 2.7. УЗО фирмы «FG» (Австрия) VI 16

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 380/220$ В, $I_n = 16$ А, $I_{\Delta n} = 0,5$ А, габаритные размеры: 190x93x100 мм, производства 1966 г. а) внешний вид; б) со снятой верхней крышкой



Рис. 2.8. УЗО фирмы «ELIN» (Австрия) FI 40/4

Параметры: 4-х полюсное, $U_n = 380/220$ В, $I_n = 40$ А, $I_{\Delta n} = 0,1$ А, габаритные размеры: 116x80x82 мм, производства прим. 1970 г.



Рис. 2.9. УЗО фирмы «Siemens» (Германия) SFJ 5SV3

Параметры: 4-х полюсное, $U_n = 380/220$ В, $I_n = 40$ А, $I_{\Delta n} = 0,3$ А, габаритные размеры: 76x71x90 мм, производства прим. 1975 г.



Рис. 2.10. УЗО фирмы «Protector» (Англия) NY-MAG SF-15

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 240$ В, $I_n = 60$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 120x65x80 мм, производства прим. 1980 г.



Рис. 2.11. УЗО фирмы «Schrack» (Австрия) BG-09

Параметры: 4-х полюсное,
 $U_n = 380/220$ В,
 $I_n = 40$ А, $I_{\Delta n} = 0,1$ А,
 габаритные размеры:
 100x70x95 мм,
 производства прим. 1980 г.



Рис. 2.13. УЗО фирмы «Stotz-BBC» (Германия) F-304

Параметры: 4-х полюсное,
 $U_n = 380/220$ В, $I_n = 40$ А,
 $I_{\Delta n} = 0,1$ А, габаритные
 размеры: 80x70x73 мм,
 производства прим. 1980 г.



Рис. 2.12. УЗО фирмы «Schiele» (Германия) FIS-40/0,1

Параметры: 4-х полюсное,
 $U_n = 380/220$ В, $I_n = 40$ А,
 $I_{\Delta n} = 0,1$ А, габаритные
 размеры: 80x70x90 мм,
 производства прим. 1980 г.

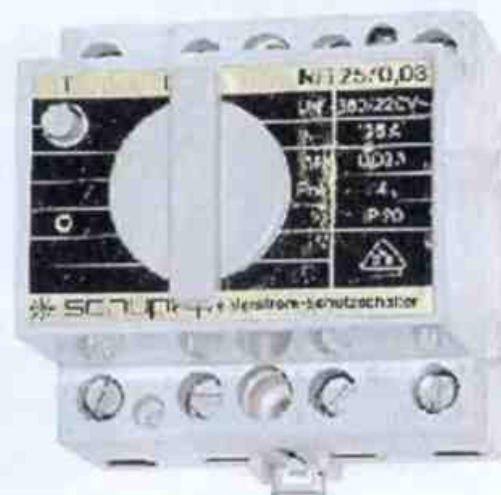


Рис. 2.14. УЗО фирмы «Schira» (Германия) NFI-25/0,03

Параметры: 4-х полюсное,
 $U_n = 380/220$ В, $I_n = 25$ А,
 $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные
 размеры: 74x70x76 мм,
 производства прим. 1980 г.



Рис. 2.15. УЗО фирмы «Stotz-ABB» (Германия) P-271/B16

Параметры: 2-х полюсное, комбинированное (со встроенной защитой от сверхтоков типа B), $U_n = 220$ В, $I_n = 16$ А, $I_{\Delta n} = 0,01$ А, габаритные размеры: 90x35x75 мм, производства прим. 1980 г.



Рис. 2.16. УЗО фирмы «Lont» (Китай) LONT LK18-40

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220$ В, $I_n = 40$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 79x69x56 мм, производства 2003 г.



Рис. 2.17. УЗО фирмы «GS» (Корея) ELB-52GR

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220/110$ В, $I_n = 50$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 96x75x76 мм, производства 2002 г.



Рис. 2.18. УЗО фирмы «Anam Ind. Co.» (Корея) AEB-E2

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220/110$ В, $I_n = 30$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 72x32x58 мм, производства 1998 г.

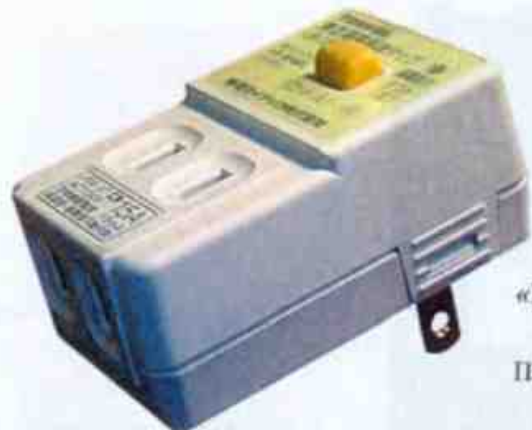


Рис. 2.19. УЗО-переходник фирмы «Toshiba» (Япония) LB-120C

Параметры: 2-х полюсное,
 $U_n = 100$ В,
 $I_n = 15$ А, $I_{\Delta n} = 0,015$ А,
 габаритные размеры:
 65x40x51 мм, производства
 2004 г.



Рис. 2.20. УЗО-розетка фирмы «Cheil Co.» (Корея) GF 114

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220$ В,
 $I_n = 15$ А, $I_{\Delta n} = 0,015$ А, габаритные
 размеры: 122x75x59 мм, производства
 2003 г.

В США разработка УЗО шла по пути создания электронных устройств. В 1961 г. было испытано трехполюсное УЗО с электронным усилителем, требовавшим питания от сети, с номинальным отключающим дифференциальным током 18 мА. Упомянувшийся в первой главе исследователь воздействия тока на человека профессор Ч.Дальцил, один из пионеров и энтузиастов внедрения УЗО в широкую практику в США, в 1962 г. собственноручно изготовил и установил в своем доме УЗО.

Поскольку в США до сих пор основным электрозащитным мероприятием служит зануление в *TN*-сетях, УЗО могло выполнять только функции дополнительной защитной меры. С целью снижения риска электропоражения при прямом прикосновении к токоведущим частям (110 В относительно земли) нормативно было определено значение номинального отключающего дифференциального тока 5 мА. По причине высокой вероятности ложного срабатывания электронного УЗО под воздействием различных электромагнитных процессов в силовой цепи в США УЗО применяют исключительно для защиты отдельных цепей — как правило, эти устройства вмонтированы в розеточные блоки (рис. 2.21), широко используются УЗО-вилки, УЗО в удлинителях (рис. 2.22, 2.23). В распределительные щиты УЗО устанавливают только в цепь питания электрооборудования ванных комнат (рис. 2.24).

Результатом масштабного внедрения УЗО явилось отмеченное официальной статистикой во всех странах резкое, на порядок и более снижение электротравматизма.

Начиная с 70-х годов в нашей стране активно велись научно-исследовательские, экспериментальные и опытно-конструкторские работы по созданию и внедрению в широкую практику УЗО. Написано значительное количество статей, диссертаций и книг по данной теме, например [26–28].



Рис. 2.21. УЗО фирмы «Leviton» (США) GFCI В

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 120$ В, $I_n = 20$ А, $I_{\Delta n} = 0,005$ А, габаритные размеры: 108x45x39 мм, производства 2004 г.



Рис. 2.22. УЗО-вилка фирмы «SHOCK-SHIELD» (США) GFCI- 14650

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 120$ В, $I_n = 15$ А, $I_{\Delta n} = 0,005$ А, габаритные размеры: 73x43x69 мм, производства 2005 г.



Рис. 2.23. УЗО-вилка с кабелем-удлинителем фирмы «Woods» (США) GFCI- 2879

Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 120$ В, $I_n = 15$ А, $I_{\Delta n} = 0,005$ А, габаритные размеры УЗО: 105x62x64 мм, производства 2005 г.



Рис. 2.24. УЗО фирмы «Murray» (США) MP-GT

Параметры: 2-х полюсное (1 полюс коммутируемый), $U_n = 120$ В, $I_n = 15$ А, $I_{\Delta n} = 0,015$ А, габаритные размеры: 85x26x60 мм, производства 2004 г.

На нескольких предприятиях было освоено производство УЗО, к сожалению, в малых объемах. Большое значение имело осуществленное в 80-е годы оборудование ряда школ страны устройствами УЗОШ (школьное) производства Гомельского завода «Электроаппаратура» (рис. 2.25).

Этот завод выпускал также устройства ЗОУП-25 (для сельскохозяйственного электрооборудования), УЗО-В (УЗО-вилка) — рис. 2.26, для подключения бытовых электроприборов. В настоящее время эти устройства как морально, так и по конструкции и элементной базе сильно устарели.

При реконструкции ныне разобранной гостиницы «Россия» после печально известного пожара 1977 года все гостиничные номера были оборудованы отечественными УЗО, изготовленными по специальному заказу одним из оборонных предприятий.



*Рис. 2.25. УЗОШ (школьное)
ОАО «Электроаппаратура»
(Беларусь, г. Гомель)*

Параметры: 2-х полюсное,
 $U_n = 220 \text{ В}$, $I_n = 10 \text{ А}$, $I_{\Delta n} = 0,01 \text{ А}$,
габаритные размеры: 123x81x92 мм,
производится с 1976 г.
по наст. время



*Рис. 2.26. УЗО-вилка, ОАО
«Электроаппаратура»
(Беларусь, г. Гомель)*

Параметры: 2-х полюсное,
 $U_n = 220 \text{ В}$, $I_n = 6,3 \text{ А}$, $I_{\Delta n} = 0,005 \text{ А}$,
габаритные размеры:
70x76x84 мм,
производства 2003 г.

В 1960–1970 гг. во всем мире, в первую очередь в странах Западной Европы, Японии, США, началось активное внедрение УЗО в широкую практику.

В настоящее время сотни миллионов УЗО успешно, о чем свидетельствует официальная статистика, защищают жизнь и имущество граждан Франции, Германии, Австрии, Австралии и других стран от электропоражений и пожаров.

УЗО давно стало привычным и обязательным элементом любой электроустановки промышленного или социально-бытового назначения.

УЗО является обязательным элементом любого распределительного щита — стационарного, временного (на стройплощадке) или мобильного.

УЗО оборудованы в обязательном порядке все передвижные объекты — жилые домики-прицепы (рис. 2.27), подключающиеся к сети на кемпинговых площадках к щиткам по временной схеме. Торговые фургоны, фургоны общественного питания, малые временные электроустановки наружной установки, например, устраиваемые на площадях на время праздничных гуляний) (рис. 2.28). Ангары, гаражи подключаются к щитам, также оборудованными УЗО.

УЗО встраивают в розеточные блоки или вилки, через которые подключаются электроинструмент или бытовые электроприборы, эксплуатируемые в особо опасных — влажных, пыльных, с проводящими полами и т.п. помещениях.

Представляет интерес еще один аспект применения УЗО. Во Франции, Румынии и некоторых других странах устройства, реагирующие на дифференциальный ток, широко применялись в целях борьбы с хищениями электроэнергии путем использования локального заземлителя.

Страховые компании при оценке риска, определяющего страховую сумму, обязательно учитывают наличие на объекте страхования УЗО и их техническое состояние.

В настоящее время на каждого жителя указанных стран приходится в среднем по два-три устройства.

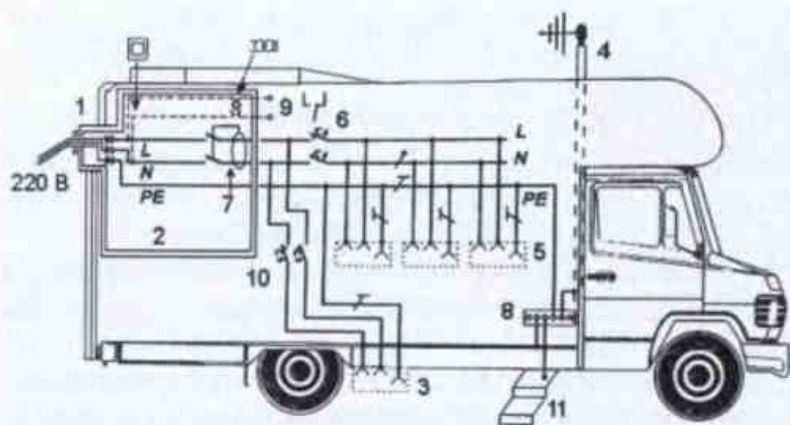


Рис. 2.27. Фургон типа «Wohnwagen» со схемой электроснабжения

- 1 — ввод кабеля электропитания, 2 — распределительный щиток,
 3 — розеточный блок для внешних потребителей, 4 — антенна,
 5 — розеточный блок для внутренних электроприборов,
 6 — автоматический выключатель, 7 — УЗО ($I_{\Delta n} = 30 \text{ мА}$), 8 — главная заземляющая шина, 9 — блокировка движения автомобиля,
 10 — автоматический выключатель защиты внешних потребителей,
 11 — проводящая лестница-трап



Рис. 2.28. Щит с автоматическими выключателями и УЗО для подключения передвижных торговых киосков (Гамбург, ФРГ)

Спрос на УЗО остается стабильно очень большим, поэтому многие зарубежные фирмы продолжают в значительных количествах выпускать эти устройства самых различных модификаций, постоянно их модернизируя и совершенствуя их технические параметры.

Следует отметить, что термин «устройство защитного отключения — УЗО», принятый в отечественной специальной литературе, наиболее точно определяет назначение данного устройства и его отличие от других коммутационных электрических аппаратов — автоматических выключателей, выключателей нагрузки, магнитных пускателей и т.д.

За рубежом приняты следующие обозначения:

В Германии, Австрии, Швейцарии — *Fehlerstrom-Schutzschalter*.
 Сокращенно: *FI-Schutzschalter*.

(*F* — *Fehler* — повреждение, неисправность, утечка, *I* — символ тока в электротехнике, *Schutzschalter* — защитный выключатель).

Во Франции — *disjoncteur différentiel* (выключатель дифференциальный).

Сокращенно: *DD*.

В Италии — *interruttori differenziali* (выключатель дифференциальный).

Сокращенно: *ID*.

В Великобритании — *earth leakage circuit breaker* (выключатель тока утечки на землю).

Сокращенно: *e.l.c.b.*

В США — *Ground Fault Circuit Interrupter* (размыкатель тока утечки на землю).

Сокращенно: *GFCI*.

В настоящее время действует международная классификация УЗО, разработанная международной электротехнической комиссией — МЭК (IEC) — (табл. 2.1).

Принято общее название — *residual current protective device* — *RCD*.

Точный перевод — защитное устройство по разностному (дифференциальному) току.

Таблица 2.1

Международная классификация УЗО (по МЭК—IEC)

RCD	<i>Residual Current protective Device</i> —защитное устройство по дифференциальному (разностному) току (общее название УЗО)
PRCD	<i>Portable Residual Current protective Device</i> —переносное защитное устройство по дифференциальному току
PRCD—S	<i>Portable Residual Current protective Device—Safety</i> —переносное защитное устройство по дифференциальному току (в кабеле-удлинителе)
SRCD	<i>Fixed Socket outlet Residual protective Current Device</i> —защитное устройство по дифференциальному току (встроенное в розетку)
RCCB	<i>Residual Current operated Circuit Breakers without integral overcurrent protection</i> —защитное устройство по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков
RCBO	<i>Residual Current operated Circuit Breakers with integral Over-current protection</i> —защитное устройство по дифференциальному току со встроенной защитой от сверхтоков
RCM	<i>Residual Current Monitor</i> —устройство контроля дифференциального тока (тока утечки)
RCU	<i>Residual Current Unit</i> —расцепитель по дифференциальному току для встраивания в силовые автоматические выключатели
CBR	<i>Circuit Breaker with Residual device</i> —силовой автоматический выключатель со встроенным расцепителем по дифференциальному току
IMD	<i>Isolation Measuring Device</i> —устройство контроля изоляции

Примечание. Слово «residual» имеет два варианта перевода на русский язык—«разностный» и «остаточный». Термина «остаточный ток» в отечественной электротехнической терминологии не существует.

Правильным переводом, точно отражающим физический смысл понятия «residual current» будет «разностный ток».

Термин «разностный ток» также точно соответствует применяемому в отечественной электротехнике определению «дифференциальный ток».

Применение же термина «остаточный ток» приводит к различным недоразумениям. Тем более недопустимо применение ошибочного термина в государственном стандарте.

Другая неточность, также присутствующая в российских стандартах, это определение УЗО, как «устройства, управляемого остаточным током».

В таком определении нарушен принцип причинно-следственной связи. Устройство не управляется этим током, а реагирует на него! Следует отметить, что в новом 7-ом издании ПУЭ [14] применяется правильный термин УЗО—устройство, реагирующее на дифференциальный ток.

К сожалению, в последних отечественных стандартах серии ГОСТ Р 51326-99 [30], ГОСТ Р 51327-99 [31] также применена неточная терминология. В отличие от принятого в основном стандарте—ГОСТ Р 50807-95 [29] определения и названия—УЗО, в указанных стандартах это устройство (в неточном переводе термина «RCD» из стандарта МЭК) называется то выключатель дифференциального тока—ВДТ, то автоматический выключатель дифференциального тока—АВДТ и даже устройство отключения дифференциального тока—УДТ [32], что вводит в заблуждение даже специалистов. Введение этих названий очень напоминает известный дорогостоящий административный эксперимент по переименованиям—«ГАИ—ГИБДД—ГАИ».

Характерно, что за рубежом в научных публикациях, нормативных и технических документах в последнее время преимущественно применяется термин RCD, однако в рекламных, коммерческих, справочных и различных популярных изданиях используются национальные названия—FI, DD, GFCI и т.д.

В рекламных проспектах некоторых российских фирм, торгующих электротехническими изделиями, а также многих зарубежных фирм — французских (*Schneider, Legrand*), китайских (ДЭК, ИЭК, Щит, Неон, *Sassin, Chint*), испанских (*Circuitor, GE Power*), турецких (*Federal, Tetsan*) УЗО со встроенной защитой от сверхтоков (комбинированное) часто называется «дифференциальный автомат» или «дифференциальный выключатель», «дифференциальное реле». Эти названия — ошибочные, не соответствуют российским стандартам. Появились они в результате неправильного перевода иностранного термина, выполненного переводчиком, незнакомым с отечественной электротехнической терминологией.

К сожалению, название «дифференциальный автомат», несмотря на то, что оно вовсе не отражает назначение устройства — комбинированную защиту от сверхтоков и токов утечки, получило широкое распространение среди коммерсантов и практикующих электромонтажников.

В заключение раздела необходимо еще раз подчеркнуть важное значение использования правильной терминологии в такой серьезной области как электробезопасность. Термин «УЗО» применяется в России уже многие годы, имея верную смысловую нагрузку, он получил широкое распространение и признание у всех специалистов, занимающихся как разработкой, проектированием, так и практической реализацией систем электробезопасности.

2.2. Принцип действия УЗО

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

Принцип действия УЗО дифференциального типа основан на применении электромагнитного векторного сумматора токов — дифференциального трансформатора тока.

Сравнение текущих значений двух и более (в четырехполюсных УЗО — четырех) токов по амплитуде и фазе наиболее эффективно, т.е. с минимальной погрешностью, осуществляется электромагнитным путем — с помощью дифференциального трансформатора тока (рис. 2.29).

Основные блоки электромеханического УЗО представлены на структурной схеме (рис. 2.30).

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1.

Пороговый элемент (пусковой орган) 2 выполняется на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия, а в устройствах, зависимых от напряжения питания — на электронных компонентах.

Исполнительный механизм состоит из механизма привода 3 с группой силовых контактов 5.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования (4 — тестовый резистор, 6 — защитный контакт цепи тестирования). При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается цепь протекания отключающего дифференциального тока. Срабатывание УЗО в этом случае означает, что устройство в целом исправно.

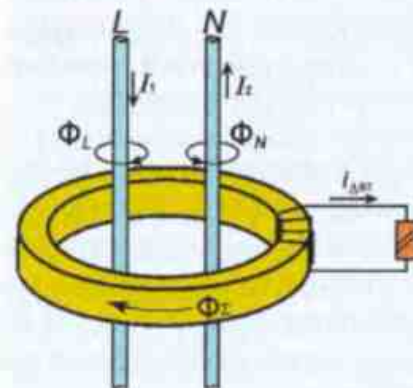


Рис. 2.29.
Дифференциальный трансформатор тока.
Принцип действия

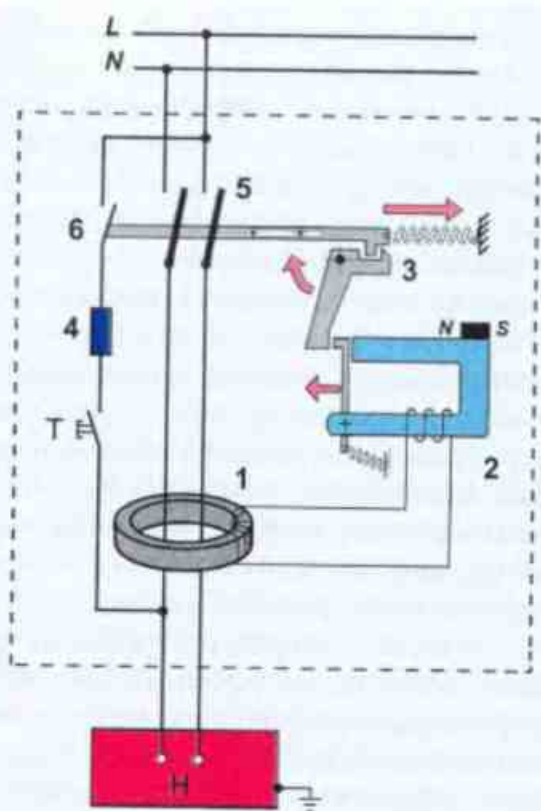


Рис. 2.30. Структурная схема УЗО

- 1 — дифференциальный трансформатор тока; 2 — пороговый элемент;
 3 — исполнительный механизм; 4 — тестовый резистор; 5 — силовые контакты; 6 — защитный контакт цепи тестирования

Суммарный магнитный поток в сердечнике Φ_{Σ} , пропорциональный разности токов в проводниках, являющихся первичными обмотками трансформатора, I_1 и I_2 , (показаны на рис. 2.29) наводит во вторичной обмотке трансформатора тока соответствующую ЭДС, под действием которой в цепи вторичной обмотки протекает ток $I_{\Delta\text{ит}}$, также пропорциональный разности токов в первичных обмотках.

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока — тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитного трансформатора тока 1, протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока.

Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке как I_1 , а от нагрузки I_2 , то справедливо равенство:

$$I_1 = I_2$$

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 .

Результирующий магнитный поток Φ_{Σ} равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

При возникновении утечки тока, вызванной, например, пробоем изоляции на корпус электроприемника или непреднамеренным прикосновением человека к открытым проводящим частям, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток — ток утечки $I_{\text{уп}}$, являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным) — I_{Δ} .

В данном случае $I_{\text{ит}} = I_{\Delta}$.

Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_{\Delta}$ в фазном проводнике и I_2 , равный I_1 , в нулевом рабочем проводнике) вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока $I_{\Delta\text{ит}}$.

Если ток $I_{\Delta\text{ит}}$ превышает значение уставки порогового элемента 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

Исполнительный механизм 3, состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов 5, размыкает электрическую цепь. В результате, защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

В абсолютном большинстве УЗО, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока используется именно трансформатор тока.

В литературе по вопросам конструирования и применения УЗО этот трансформатор иногда называют трансформатором тока нулевой последовательности — ТТНП, хотя понятие «нулевая последовательность» применимо только к трехфазным цепям и используется при расчетах несимметричных режимов многофазных цепей.

На рис. 2.31 показано устройство современного магнитоэлектрического реле.

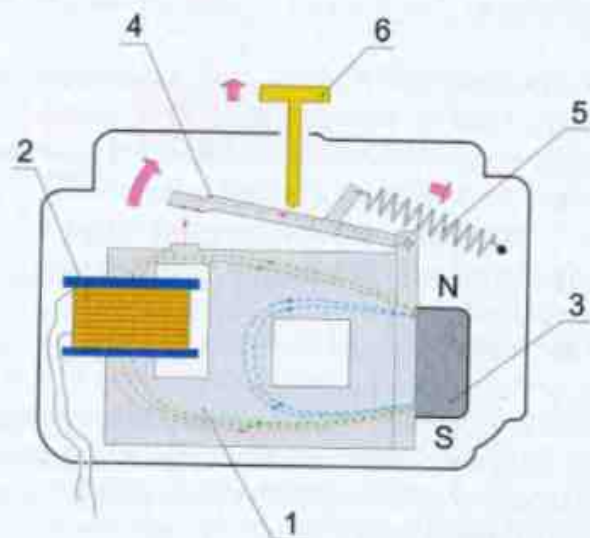


Рис. 2.31. Магнитоэлектрическое реле

1 — магнитопровод, 2 — обмотка, 3 — постоянный магнит, 4 — якорь, 5 — пружина, 6 — шток

В режиме покоя — при токе в обмотке реле 2, меньшем порогового значения, под действием магнитного поля постоянного магнита 3 якорь реле 4 удерживается в притянутом состоянии, несмотря на усилие пружины 5, стремящейся оторвать якорь от магнитопровода. При увеличении дифференциального тока $i_{\Delta\text{ит}}$ и достижении им порогового значения, при котором поле, создаваемое током $i_{\Delta\text{ит}}$ в обмотке 2, становится равным или превышает поле постоянного магнита 3, якорь 4 под действием тяги пружины 5 отрывается от магнитопровода 1 и толкает шток 6, в свою очередь воздействующий на спусковой механизм пружинного привода силовых контактов.

Принцип действия УЗО поясняется схемой, представленной на рис. 2.32.

2.3. Виды УЗО

Существуют различные по техническому исполнению УЗО. Ниже приведена примерная классификация УЗО.

1. По назначению:

- УЗО без встроенной защиты от сверхтоков;
- УЗО со встроенной защитой от сверхтоков.

УЗО со встроенной защитой от сверхтоков подразделяются на группы по характеристике мгновенного расцепления:

- типа *B*;
- типа *C*;
- типа *D*.

2. По условию зависимости работоспособности от напряжения:

- УЗО, функционально не зависящие от напряжения;
- УЗО, функционально зависящие от напряжения.

3. По положению силовых контактов и сохранению защитных функций при отсутствии напряжения:

- УЗО, автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения питания и замыкающие их при восстановлении напряжения;

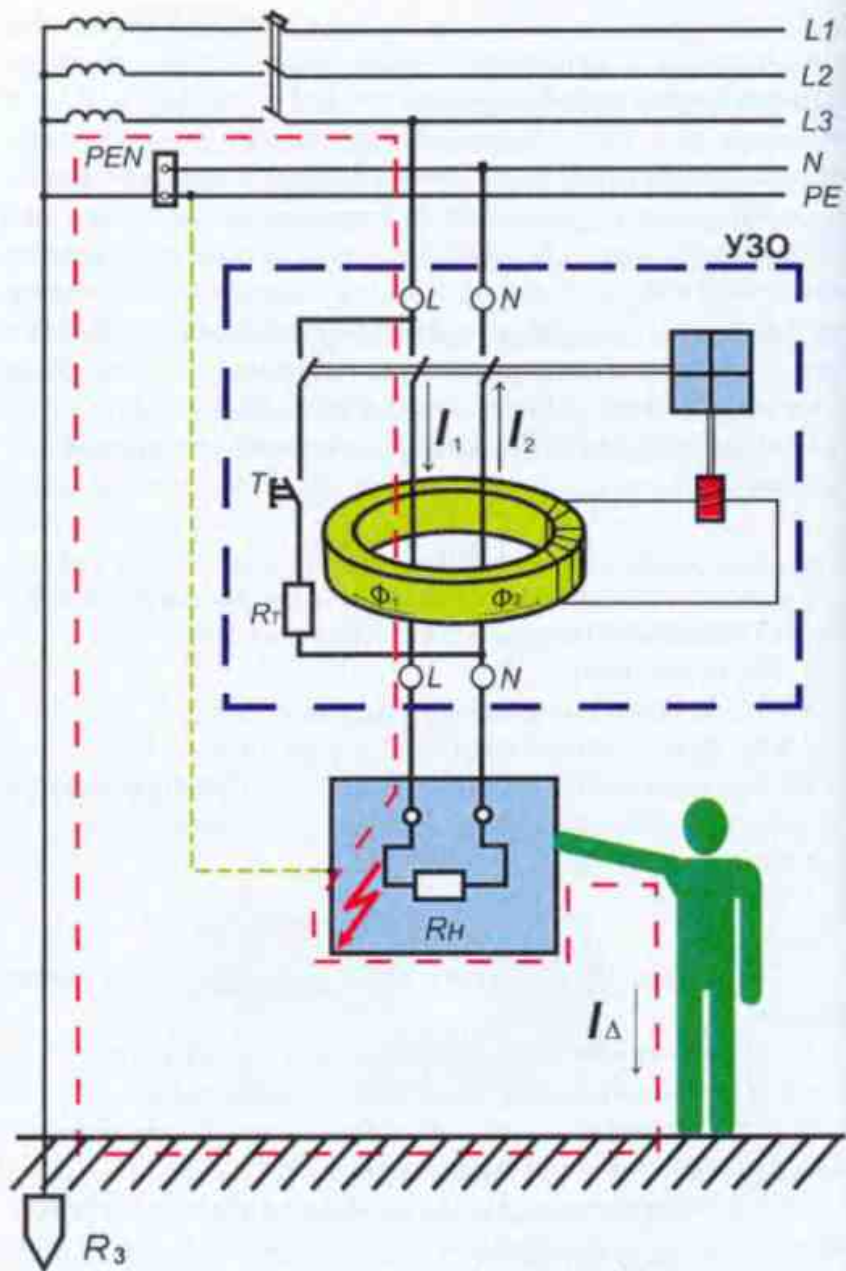


Рис. 2.32. Принцип действия УЗО

- УЗО, автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения питания и не замыкающие их при восстановлении напряжения;

- УЗО, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения питания, но сохраняющие свои защитные функции, т.е. способные разомкнуть силовую цепь при возникновении дифференциального тока;

- УЗО, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения питания и теряющие защитные функции, т.е. неспособные произвести отключение при возникновении дифференциального тока.

4. По способу установки:

- УЗО для стационарной установки при неподвижной электропроводке;

- УЗО мобильные (переносного типа) и для шнурового соединения.

5. По числу полюсов и токовых путей:

- двухполюсные с двумя защищенными полюсами;

- четырехполюсные с четырьмя защищенными полюсами.

6. По условиям функционирования при наличии постоянной составляющей дифференциального тока:

- УЗО типа АС, реагирующие на синусоидальный переменный дифференциальный ток, медленно нарастающий либо возникающий скачком;

- УЗО типа А, реагирующие как на синусоидальный переменный дифференциальный ток, так и на пульсирующий постоянный (выпрямленный) дифференциальный ток, медленно нарастающие либо возникающие скачком.

- УЗО типа В, реагирующие на дифференциальные токи — синусоидальный переменный, пульсирующий постоянный, пульсирующий постоянный с наложенной сглаженной пульсацией постоянного тока значением 0,006 А, медленно нарастающие либо возникающие скачком.

7. По наличию задержки по времени:

- УЗО без выдержки времени — тип общего применения;
- УЗО с выдержкой времени — тип *S* и тип *G* (селективные).

Далее перечисленные виды УЗО будут рассмотрены более подробно.

2.4. Применение различных видов УЗО

Общие требования к УЗО и методы испытаний сформулированы в российском стандарте ГОСТ Р 50807-95 «Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током» [29]. Технические требования к двум основным классам УЗО — без встроенной защиты от сверхтоков (*RCCB*) и со встроенной защитой от сверхтоков (*RCBO*) регламентируются российскими стандартами ГОСТ Р 51326.1-99 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков» [30] и ГОСТ Р 51327.1-99 «Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков» [31].

УЗО со встроенной защитой от сверхтоков (*RCBO*) (рис. 2.33) иногда называют «комбинированными» УЗО. Практически все фирмы-производители УЗО имеют в своей производственной программе УЗО со встроенной защитой от сверхтоков. Как правило, их доля в общем объеме выпускаемых устройств защитного отключения не превышает одного-двух процентов. Это объясняется довольно ограниченной областью их применения — небольшие электроустановки, малая, неизменяемая нагрузка, автономные электроприемники и т.п.

В нашей стране применяется значительное количество различных моделей комбинированных УЗО. Произошло это по той причине, что в конструкции электронных УЗО российского производства в качестве исполнительного органа используется



Рис. 2.33. УЗО со встроенной защитой от сверхтоков

- а) фирмы «Schrack» (Германия). Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220$ В, $I_n = 20$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, $B20$, габаритные размеры: $80 \times 35 \times 72$ мм,
б) АСТРО*УЗО. Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220$ В, $I_n = 16$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, $B16$, габаритные размеры: $80 \times 35 \times 72$ мм

типовой автоматический выключатель (рис. 2.34). Такие УЗО в силу своей конструкции просто не могут быть некомбинированными. Применение только комбинированных УЗО в конечном итоге ограничивает возможности проектировщиков, лишает их гибкости при выборе вариантов схем и комбинаций «УЗО — несколько автоматических выключателей» и «автоматический выключатель — несколько УЗО», что снижает надежность схем электроснабжения и даже удорожает проекты.

Станным образом в ПУЭ 7-го издания [14] попало технически необоснованное, не имеющее аналогов в зарубежных



Рис. 2.34. Внешний вид электронного УЗО ВЗД2 АО «Камилла ЛТД», (г. Ставрополь)

Параметры: 2-х полюсное, $U = 220$ В, $I_n = 40$ (6,3?) А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 85x57x63 мм, производства 2000 г.

электротехнических нормах указание — п. 7.1.76: «Рекомендуется использовать УЗО, представляющие единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока».

Применение УЗО со встроенной защитой от сверхтоков целесообразно лишь в обоснованных случаях, например, для одиночных потребителей электроэнергии.

Показательным примером является применение таких устройств для защиты в цепи питания освещения рекламных щитов, установленных на уличных павильонах остановок общественного транспорта. Световой короб, подсвечиваемый тремя люминесцентными лампами, подключен к питающему кабелю, проложенному под землей, через комбинированное УЗО с номинальным током 6 А и номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА.

Конструктивной особенностью УЗО со встроенной защитой от сверхтоков является то, что механизм привода силовых контактов запускается при воздействии на него любого из трех элементов — датчиков, реагирующих на ток КЗ, ток перегрузки и дифференциальный ток. Соответственно — якоря катушки токовой отсечки, биметаллической пластины и магнитоэлектрического реле. Эти элементы оказывают различные по усилию и динамике воздействия на механизм привода, чем и определяется, в част-

ности, большая сложность конструкции и, соответственно, меньшая надежность таких устройств (рис. 2.35).

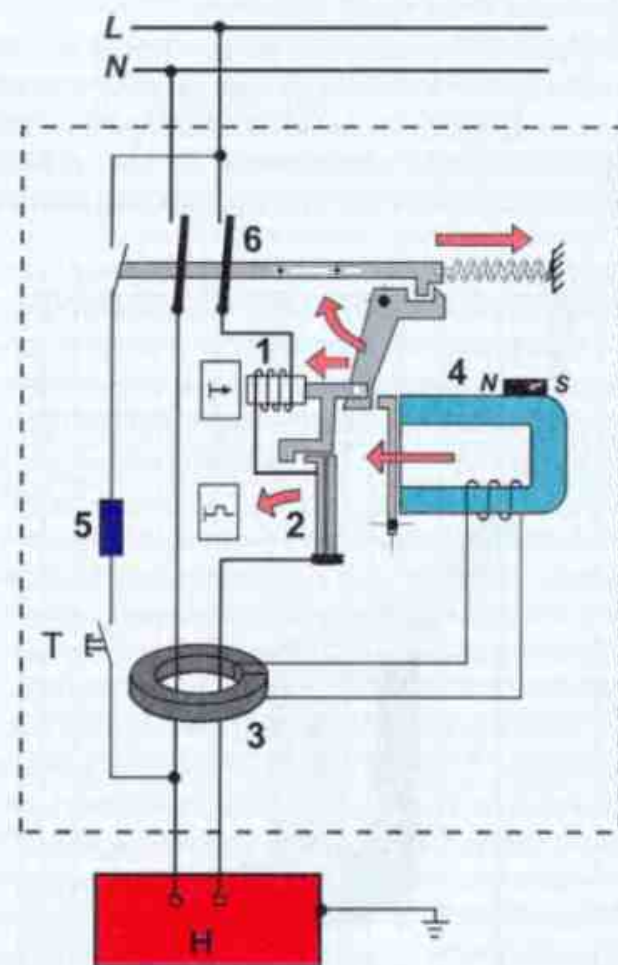


Рис. 2.35. УЗО со встроенной защитой от сверхтоков

1 — катушка токовой отсечки; 2 — биметаллическая пластина; 3 — дифференциальный трансформатор тока; 4 — магнитоэлектрическое реле, реагирующее на дифференциальный ток; 5 — тестовый резистор; 6 — силовые контакты; Н — нагрузка; Т — кнопка «Тест»

УЗО со встроенной защитой от сверхтоков подразделяются стандартами на группы по характеристике мгновенного расцепления: *B*, *C* и *D*. На практике производятся комбинированные УЗО только типов *B* и *C* (рис. 2.36).

Принципиальное значение при рассмотрении применения различных видов УЗО имеет разделение устройств по условию зависимости от напряжения питания на следующие два типа:

- УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания (электромеханические). В таких устройствах источником

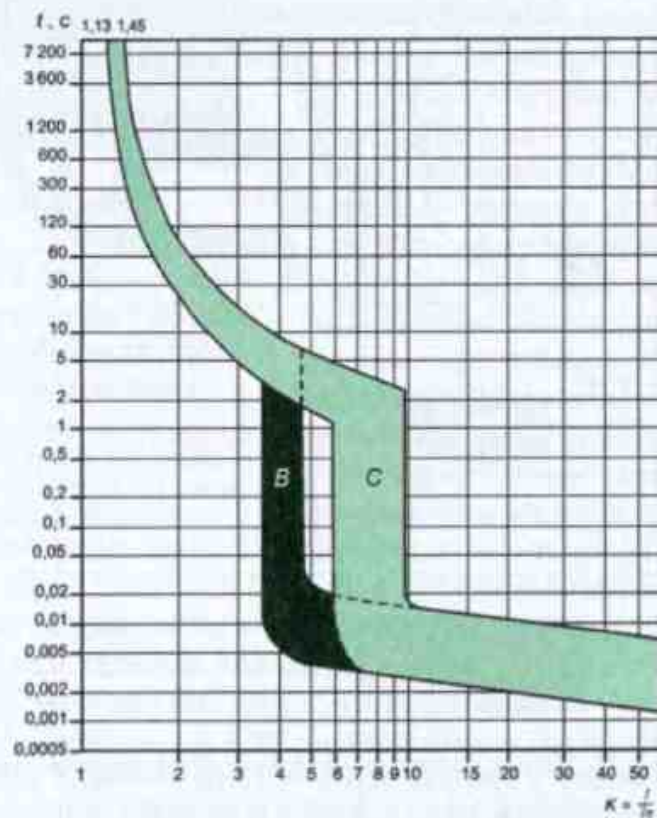


Рис. 2.36. Характеристики мгновенного расцепления комбинированных УЗО—типы *B* и *C*

энергии, необходимой для выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам сигнал— дифференциальный ток;

- УЗО, функционально зависящие от напряжения питания (электронные). Для этих устройств для выполнения операции отключения необходима энергия, получаемая либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Имевшая место в конце девяностых годов дискуссия о недостатках и преимуществах электромеханических и электронных УЗО в настоящее время практически прекратилась. Практика эксплуатации со всей очевидностью показала, что электромеханические УЗО обладают гораздо большими ресурсом и сроком службы, значительно более надежны и помехоустойчивы и имеют лучшие показатели по условиям электромагнитной совместимости. Отмечены случаи безотказной работы электромеханических УЗО в течение двадцати лет и более. Конечно, при этом важным условием является качественное исполнение устройств. Следует отметить, что ведущие фирмы-производители УЗО довели конструкцию и технологию производства электромеханических устройств до предельно высокого уровня. Основные элементы УЗО— дифференциальный трансформатор, магнитоэлектрическое реле, механизм привода силовых контактов и собственно контакты современных устройств характеризуются совершенством конструкции, высокой надежностью, устойчивостью от воздействия неблагоприятных климатических условий и разного рода электромагнитных процессов в сети и электроустановках.

Область применения устройств, функционально зависящих от напряжения питания, несмотря на их относительную дешевизну, довольно ограничена.

Основной причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной по условиям вероятности электропоражения неисправности электроустановки, а именно— об-

рыве PEN-проводника или нулевого рабочего проводника в цепи до УЗО по направлению к источнику питания.

В этом случае «электронное» УЗО, не имея питания, не функционирует, а на электроустановку по фазному проводнику выносится опасный для жизни человека потенциал.

Второй причиной является меньшая надежность (вероятность выхода из строя какого-либо из большого количества электронных компонентов довольно высока), кроме того, такие УЗО характеризуются меньшей помехоустойчивостью в силу большей подверженности электронных схем воздействию внешних факторов — электромагнитных полей, импульсов тока и др.

Напротив, электромеханические устройства в рассмотренном аварийном режиме — при обрыве PEN-проводника, сохраняют работоспособность и при возникновении тока утечки, вызванного прикосновением человека, размыкают электрическую цепь, обеспечивая надежную защиту человека от поражения электрическим током.

Примечание. В Германии до настоящего времени применение электронных УЗО допускается только в качестве дополнительных, при условии, что электроустановка защищена электромеханическим УЗО. В отличие от электромеханических, обозначаемых как *FI-Schutzschalter* (УЗО), электронные устройства маркируются как *DI-Schutzschalter* (дифференциальный выключатель). По этой же причине, хотя такие УЗО и выпускаются в небольших количествах (УЗО-розетки, УЗО-вилки), фирмы-производители не имеют права наносить на них германский сертификационный знак «VDE». В 2005 году Комитет «К 221 — Устройство электроустановок и защита от электропоражений» Германской электротехнической комиссии (DKE) выпустил документ, определяющий терминологию применительно к электрозщитным устройствам [33]. В данном документе, уточняется, что *DI-Schutzschalter* входят в группу устройств «RCD, зависящие от напряжения питания», но на

данный момент нет ни немецких, ни общеевропейских норм на такие устройства, что ограничивает их применение.

Применение разных видов УЗО регламентировано рядом нормативных документов. В стандарте МЭК 364-5-53 [34] определены следующие требования к УЗО, функционально зависящим от напряжения питания:

п. 531.2.2. Выбор устройств (УЗО) с учетом их функциональной зависимости от напряжения питания.

п. 531.2.2.1. Устройства защиты (УЗО), управляемые остаточным током, могут иметь или не иметь вспомогательный источник питания, принимая во внимание требования пункта 531.2.2.2.

п. 531.2.2.2. Применение устройств защиты, управляемых остаточным током, со вспомогательным источником питания, не отключающего автоматически защищаемую цепь в случае отказа вспомогательного источника, разрешается только при выполнении одного из двух условий:

— защита от непрямого контакта по п. 413.1 обеспечивается даже в случае отказа вспомогательного источника;

— устройства монтируются в установках, управляемых, испытываемых и проверяемых обученным (ВА4) или высококвалифицированным (ВА5) персоналом.

В то время, как в европейских странах в течение почти полувека успешно применяются электромеханические УЗО, в ряде стран — США, Канаде, Японии в основном используются УЗО, функционально зависящие от напряжения питания (электронные). Это объясняется рядом факторов — исторических и технических, которые указывались выше.

Известно большое количество схем электронных УЗО — например, приведенная на рис. 2.37 схема серийного устройства *Toshiba LB-120*.

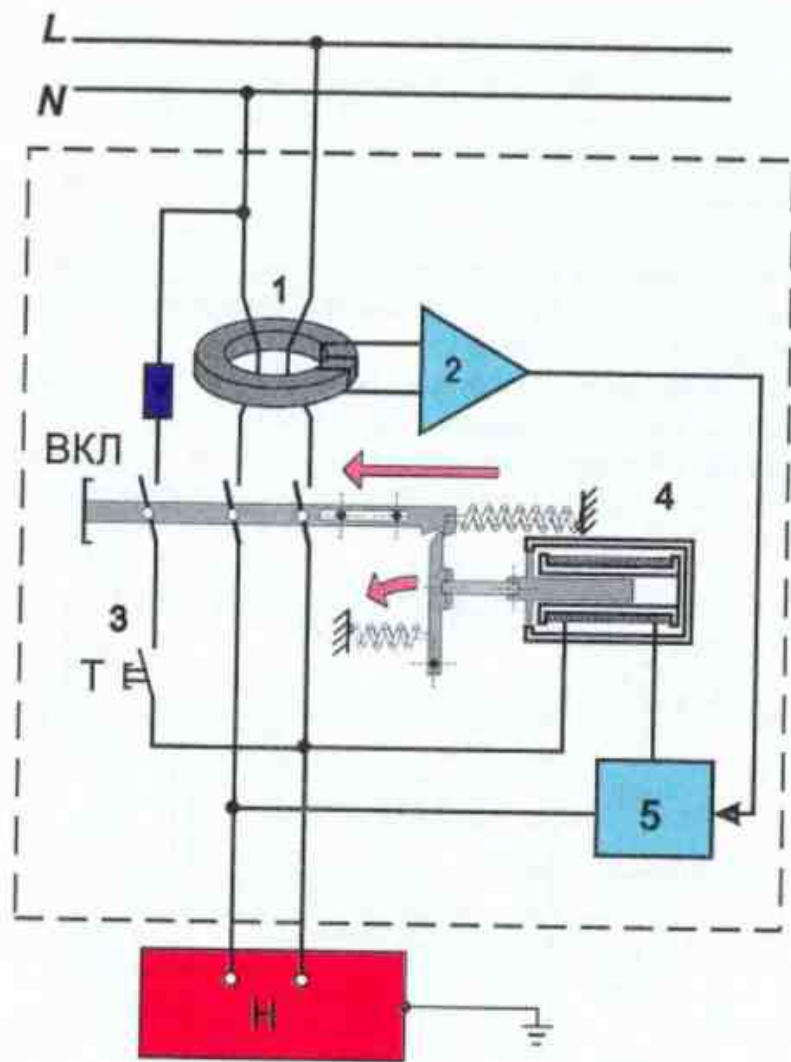


Рис. 2.40. УЗО, зависящее от напряжения сети, с функцией отключения при пропадании напряжения

1 — дифференциальный трансформатор тока; 2 — электронный усилитель; 3 — тестовая цепь; 4 — удерживающий соленоид; 5 — электронный ключ; Н — нагрузка; Т — кнопка «Тест»

падает, соленоид обесточивается, усилием пружины привода силовые контакты размыкаются. Если УЗО включено и на управляющую схему с дифференциального трансформатора через электронный усилитель поступает сигнал, означающий, что дифференциальный ток превышает заданное значение — уставку, управляющая схема разрывает цепь питания соленоид, силовые контакты размыкаются, защищаемая цепь обесточивается. Подобная конструкция УЗО обеспечивает гарантированную защиту от поражения человека в электроустановке и в случае обрыва нулевого проводника.

В США УЗО такого типа встроены в розеточные блоки (рис. 2.21). На одном объекте, например, в небольшой квартире устанавливается от 10 до 15 устройств. Розетки, не оборудованные УЗО, обязательно запитываются от соседних розеточных блоков с УЗО. Широко распространены УЗО-вилки, например, в продаже невозможно встретить самый простой фен, который бы не был снабжен УЗО, встроенным в вилку (рис. 2.41).



Рис. 2.41. Фен с УЗО-вилкой фирмы «Leviton» (США) GFCI В

Параметры УЗО: 2-х полюсное, $U_n = 120$ В, $I_n = 20$ А, $I_{\Delta n} = 0,005$ А, габаритные размеры: 68x41x46 мм, производства 2003 г.

К сожалению, в нашей стране, в отличие от общепринятой в мировой практике концепции, целый ряд предприятий выпускает электронные УЗО с исполнительным элементом в виде типового автоматического выключателя (рис. 2.34).

Конструктивно такие устройства представляют из себя электронный блок с дифференциальным трансформатором тока, выпрямителем, подключенным к контролируемой сети через гасящие резисторы и предназначенным для питания электронного усилителя с пороговым устройством, и элемент привода — электромагнит, посредством механической тяги воздействующий на спусковое устройство автоматического выключателя.

Серьезным недостатком таких устройств является их инвариантность по стороне подключения питающей сети и нагрузки, в отличие от электромеханических УЗО, к которым сеть и нагрузка могут быть подключены с любой стороны. Это вызывает большие неудобства при монтаже щитов.

При отсутствии напряжения на входных зажимах такого устройства (например, при обрыве нулевого проводника до УЗО по направлению к источнику питания), устройство теряет работоспособность, так как исчезает питание электронного усилителя и отсутствует энергия, необходимая для электромагнитного привода механизма расцепителя автоматического выключателя.

Таким образом, в случае обрыва нулевого рабочего проводника в питающей сети устройство неработоспособно и не защищает контролируемую цепь.

Серьезным недостатком таких устройств является тот факт, что при их применении, в указанном аварийном режиме (при обрыве нулевого проводника) опасность поражения человека электрическим током усугубляется, так как по фазному проводнику через неразомкнутые контакты автоматического выключателя в электроустановку выносятся потенциал. Пользователь, полагая, что в сети напряжения нет, отчасти надеясь

на защиту УЗО, теряет обычную бдительность по отношению к электрическому напряжению и часто предпринимает попытки устранить неисправность и восстановить электропитание — открывает электрический щит, проверяет контакты, подвергая тем самым свою жизнь смертельной опасности.

Электромеханические УЗО производят ведущие европейские фирмы — *Siemens, ABB, Moeller, Doepke, Circutor, GE Power, Hager, Kopp, Legrand, Merlin-Gerin* и др. В России большое распространение получили электромеханические устройства производства ЗАО «АСТРО-УЗО» — МЭИ.

Существуют три типа УЗО, характеризующиеся видом дифференциального тока, на который они реагируют. Это УЗО типа *АС, А и В*.

- УЗО типа *АС* реагирует на синусоидальный переменный дифференциальный ток;
- УЗО типа *А* реагирует на синусоидальный переменный и на пульсирующий постоянный (выпрямленный) дифференциальный ток.
- УЗО типа *В* реагирует на синусоидальный переменный, пульсирующий постоянный, пульсирующий постоянный (с наложенной сглаженной пульсацией постоянного тока значением 0,006 А) дифференциальные токи.

Первоначально все УЗО предназначались для защиты человека от электропоражения в сетях переменного тока и, соответственно, реагировали на переменный дифференциальный ток, т.е. были типа *АС*. В настоящее время в европейских странах ведется и почти завершена замена УЗО типа *АС* на тип *А*. Тип *В* появился только в самое последнее время и уже производится несколькими фирмами.

Разработка и производство новых типов стали необходимы по причине изменения в последние годы характера электрической нагрузки. Появились миллионы компьютеров, во много раз увеличилось количество телевизоров, многократно возросло число бытовой и офисной техники, электронного инструмента

и т.д. Указанные электроприборы характерны тем, их блоки питания, как правило, выполнены по бестрансформаторной схеме питания — примеры на рис. 2.42–2.44.

Это означает, что при повреждении изоляции или замыкании на стороне нагрузки, т.е. за вентиляльными элементами, возникает ток утечки несинусоидальной формы, например, ток однополупериодный, выпрямленный (рис. 2.45).

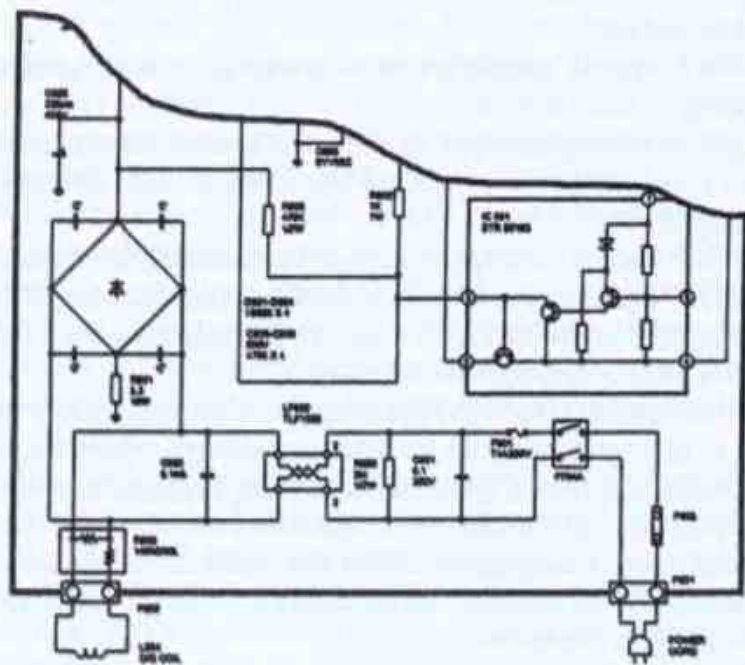


Рис. 2.42. Фрагмент схемы блока питания телевизора «Daewoo»

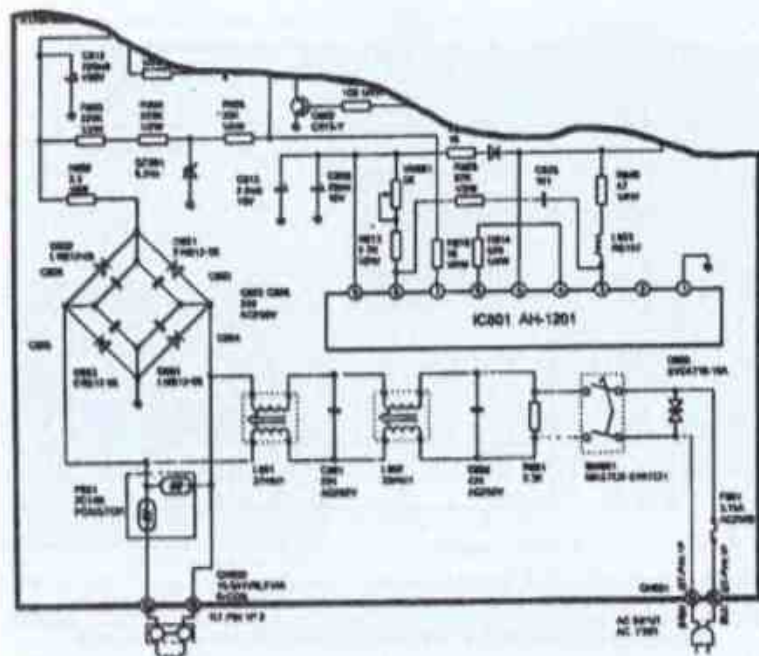


Рис. 2.43. Фрагмент схемы блока питания телевизора «Samsung»

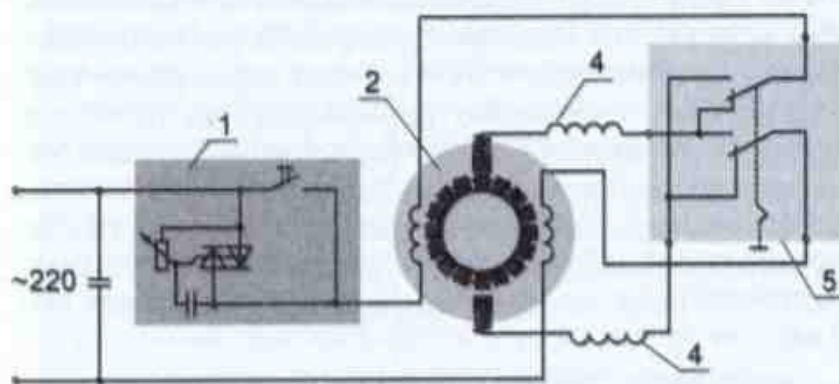


Рис. 2.44. Схема управления ручного электроинструмента

1 — выключатель и регулятор скорости, 2 — двигатель, 3 — переключатель реверса, 4 — дроссели фильтра

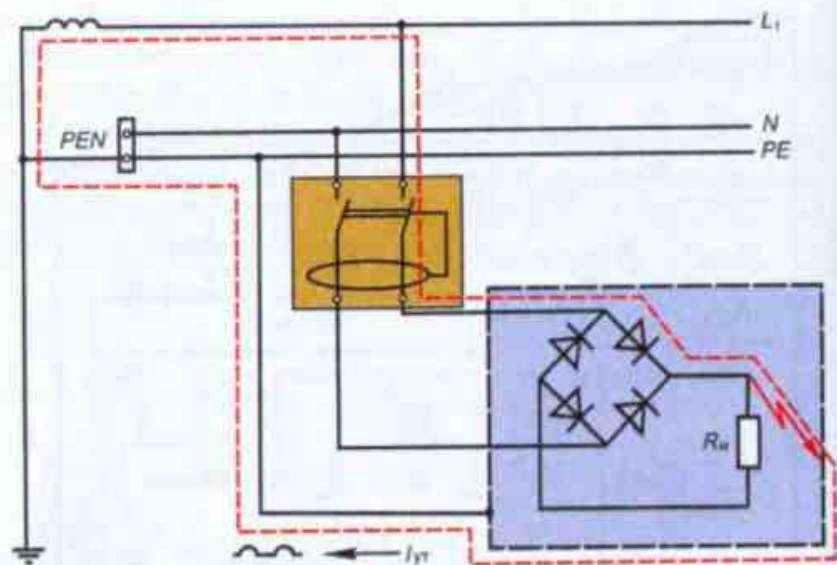


Рис. 2.45. Схема, поясняющая возникновение в электроустановке выпрямленного тока утечки

На ток утечки такой формы УЗО типа АС не реагирует, а реагирует УЗО типа А.

УЗО типа В — новинка на электротехническом рынке. Такие УЗО производят в настоящее время всего три европейские фирмы. Особенностью УЗО этого типа является его чувствительность к току утечки широкого спектра частот — от «гладкого» постоянного тока до частоты в 1 МГц. Такие УЗО находят применение в системах электроснабжения с частотными преобразователями, источниками бесперебойного питания, мощными высокочастотными инверторами. В области высоких частот эти устройства имеют меньшую чувствительность (рис. 2.46).

Электромеханические УЗО типового исполнения имеют довольно высокое быстродействие. Время срабатывания при номинальном отключающем дифференциальном токе составляет 20 ... 40 мс.

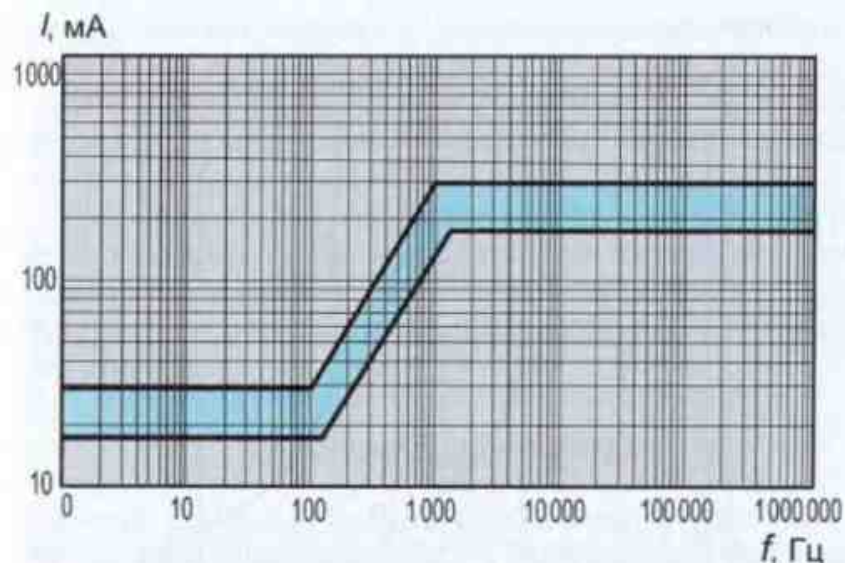


Рис. 2.46. Зависимость отключающего дифференциального тока УЗО типа В от частоты дифференциального тока

В схемах электроснабжения, в которых необходимо каскадное включение устройств, необходимо применять УЗО с выдержкой времени — типа S или G (селективные), поскольку селективность (избирательность) работы устройств по дифференциальному току по ряду технических причин обеспечить невозможно. Выбор УЗО для обеспечения селективности их работы выполняется с учетом характеристик устройств, приведенных рис. 2.47.

В качестве примечания необходимо отметить, что, к сожалению, на отечественном рынке появилось огромное количество УЗО неустановленного происхождения, не сертифицированных на соответствие российским стандартам, не имеющих требуемых сопроводительных документов.

Такие устройства, например, некоторые УЗО китайского производства, имеют привлекательную цену, приличный внешний вид, но при этом качество их довольно низкое — недопустимо

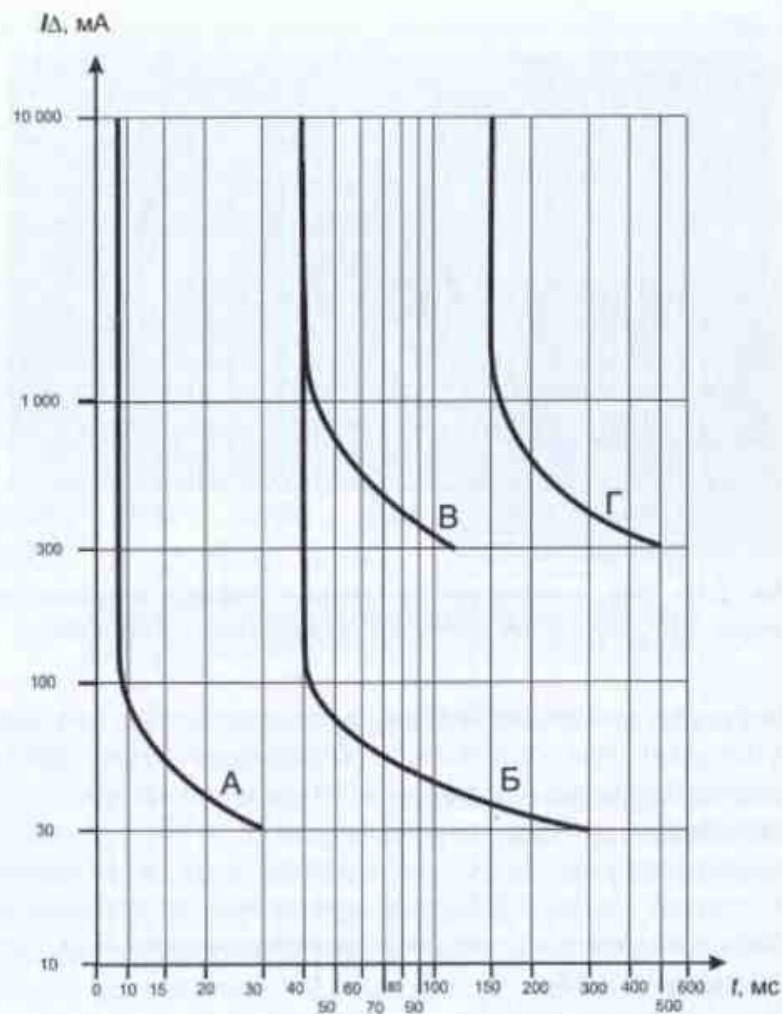


Рис. 2.47. Времятоковые характеристики УЗО

А — реальное устройство АСТРО*УЗО Ф-2211 ($I_{\Delta n} = 30$ мА); Б, В, Г — нормируемые ГОСТ Р 51326.1-99 характеристики УЗО: Б — характеристика отключения УЗО общего применения ($I_{\Delta n} = 30$ мА); В — характеристика неотключения, Г — характеристика отключения УЗО типа S ($I_{\Delta n} = 300$ мА)

низкая стойкость к токам КЗ, недостаточная коммутационная способность, малый срок службы и т.д.

Применение подобных устройств, учитывая особое назначение УЗО — защита жизни и имущества человека, является совершенно недопустимым.

Учитывая вышеизложенное, при приобретении УЗО необходимо обратить особое внимание на наличие сопроводительной технической документации, в том числе обязательных сертификатов — сертификата соответствия и сертификата пожарной безопасности.

2.5. Конструкция УЗО

На рис. 2.48 и 2.49 представлен вид электромеханических двух- и четырехполюсного УЗО со снятой верхней крышкой.

Можно выделить четыре основных функциональных блока электромеханического УЗО — дифференциальный трансформатор тока, магнитоэлектрическое реле прямого действия, механизм привода силовых контактов, собственно контакты и тестовая цепь, состоящая из защитного контакта и тестового резистора.

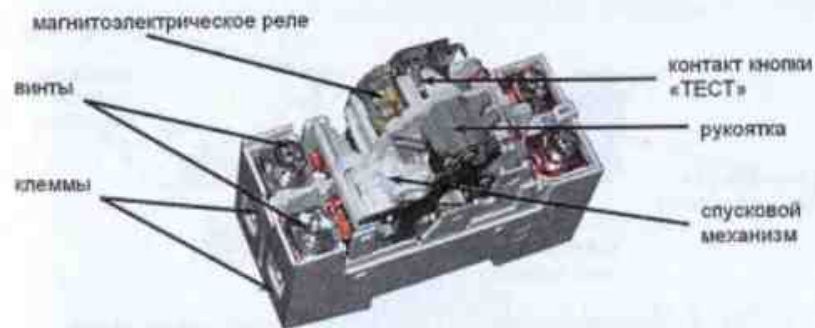


Рис. 2.48. Электромеханическое двухполюсное УЗО со снятой верхней крышкой

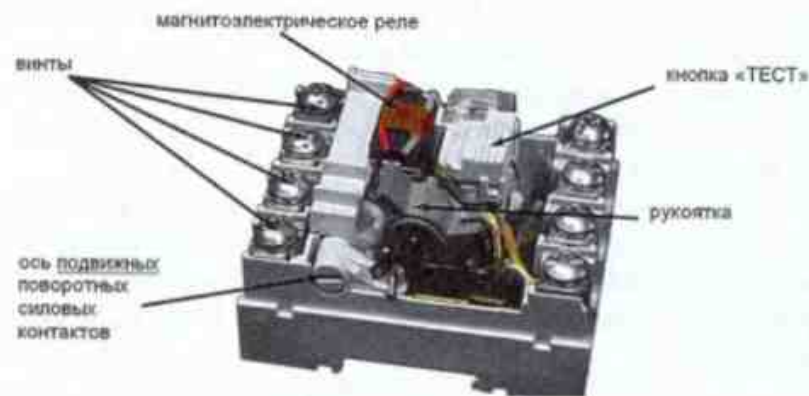


Рис. 2.49. Электромеханическое четырехполюсное УЗО со снятой верхней крышкой

К магнитному сердечнику трансформатора тока (рис. 2.50) электромеханического УЗО предъявляются чрезвычайно высокие требования по качеству — высокая чувствительность, линейность характеристики намагничивания, температурная и временная стабильность и т.д.

По этой причине для изготовления трансформаторов тока УЗО используется специальное качественное аморфное (некристаллическое) железо.



Рис. 2.50. Дифференциальный трансформатор тока двухполюсного УЗО

Первичная обмотка подсоединена к подвижным и неподвижным контактам



Рис. 2.51. Магнитоэлектрическое реле

Магнитоэлектрическое реле (рис. 2.51) современных электромеханических УЗО имеет очень высокую чувствительность. Потребляемая им мощность составляет всего 50 ... 100 мкВт.

Механизм привода силовых контактов должен обеспечивать довольно значительное усилие прижатия подвижных контактов к неподвижным, осуществлять оптимальную траекторию движения подвижных контактов, иметь достаточно легкий ход и высокую чувствительность спускового устройства. По соотношению входного и выходного усилий механизм электромеханического УЗО можно сравнить с механизмом мышеловки. Кроме того, к механизму УЗО предъявляются чрезвычайно высокие требования по надежности и износостойкости. Веду-

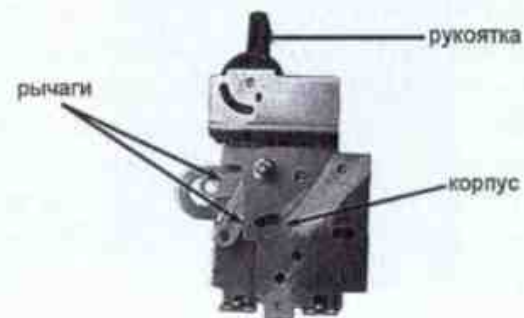


Рис. 2.52. Механизм привода контактной группы

щие фирмы-производители гарантируют ресурс устройств в 10 000 механических циклов. По этой причине в качественных устройствах механизм выполняется штамповкой из хороших сортов нержавеющей стали или латуни (рис. 2.52). В более дешевых вариантах механизм изготавливают в виде комбинации металлических и пластмассовых деталей.

В целях исключения выноса потенциала сети в защищаемую электроустановку при нажатии кнопки «Тест» (рис. 2.53) в отключенном состоянии УЗО, тестовая цепь подключена к входным клеммам УЗО через защитный контакт, механически связанный с силовыми контактами.



Рис. 2.53. Тестовый резистор с кнопкой «Тест»

На рис. 2.54 и 2.55 показано устройство УЗО, зависящих от напряжения источника — т.н. «электронных», европейского и американского производства. Характерным отличием этих устройств друг от друга является наличие в американском варианте удерживающего соленоида. При пропадании напряжения якорь соленоида под действием пружины отделяется от сердечника, вызывая размыкание силовых контактов и обесточивание защищаемой цепи. В европейском варианте в подобном случае контакты УЗО остаются во включенном положении, при этом УЗО, в силу отсутствия питания, теряет работоспособность.

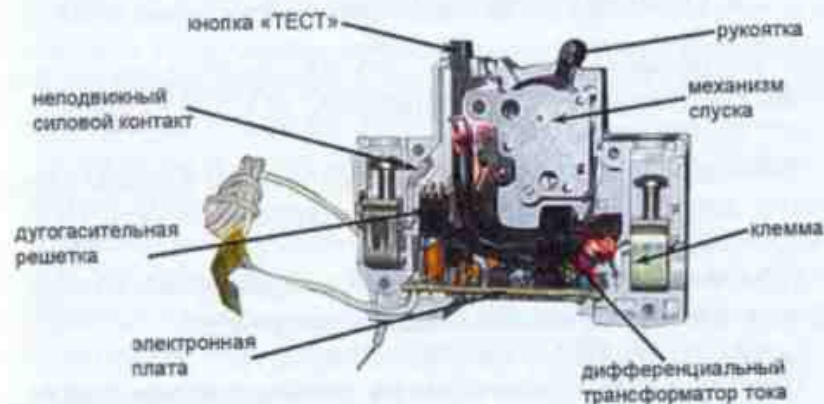


Рис. 2.54. УЗО, зависящее от напряжения питания — «электронное», европейский вариант

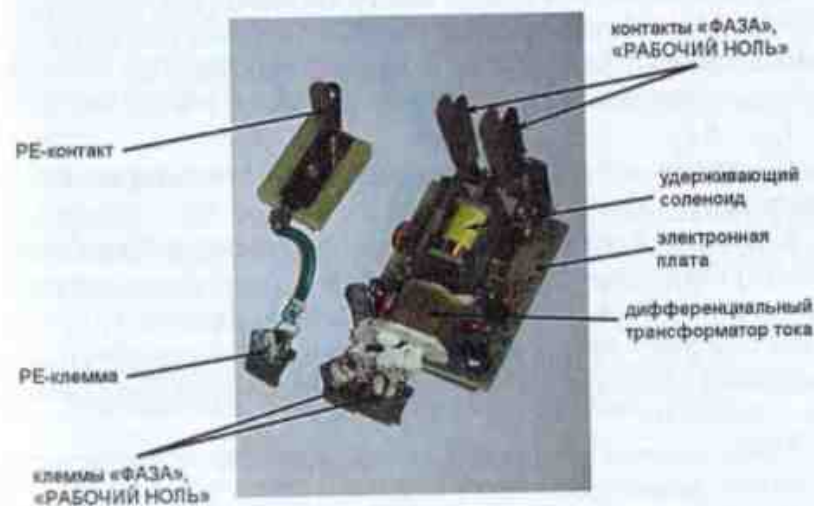


Рис. 2.55. УЗО, зависящее от напряжения питания — «электронное», США

2.6. Основные нормируемые 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 [29-31].

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.

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

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

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

Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$ — значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}$$

Предельное значение неотключающего сверхтока $I_{\Delta n0}$ — минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух- и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО.

$$I_{\Delta n0} = 6 I_n$$

Сверхток — любой ток, превышающий номинальный ток нагрузки.

Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_n — 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 $I_n = 10 I_n$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta n}$ — 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 $I_{\Delta n} = 10 I_n$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальный условный ток КЗ $I_{\Delta n}$ — действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от КЗ, при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{\Delta n} = 3\,000; 4\,500; 6\,000; 10\,000 \text{ А.}$$

Номинальный условный дифференциальный ток КЗ $I_{\Delta n}$ — действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от КЗ при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{\Delta n} = 3\,000; 4\,500; 6\,000; 10\,000 \text{ А.}$$

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

Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО типов АС и А при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать приведенных в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Максимально допустимое время отключения УЗО при заданных значениях дифференциального тока

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

В главе 3 вышеперечисленные технические параметры УЗО рассмотрены более подробно.

Таблица 2.3

Технические параметры УЗО серии АСТРО*УЗО

Наименование параметра	Номинальное значение
Номинальное напряжение U_n , В	220, 380 *)
Номинальная частота f_n , Гц	50
Номинальный ток нагрузки I_n , А	16, 25, 40, 63, 80, 100, 125 *)
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) $I_{\Delta n}$, mA	10, 30, 100, 300, 500 *)
Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$	$0,5I_{\Delta n}$
Предельное значение неотключающего сверхтока $I_{\Delta n\max}$	$6I_n$
Номинальная включающая и отключающая (коммутационная) способность I_{cn} , А	1 500
Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta cn}$, А	1 500
Номинальный условный ток КЗ (стойкость к току КЗ) I_{cu} , А	10 000
Номинальный условный дифференциальный ток КЗ $I_{\Delta cu}$, А	10 000
Номинальное время отключения при номинальном дифференциальном токе $T_{\Delta n}$, не более, мс	30
Диапазон рабочих температур, °C	-25 ... +40
Максимальное сечение подключаемых проводников, мм ²	25, 50*)
Срок службы:	
— электрических циклов, не менее	4 000
— механических циклов, не менее	10 000

2.7. Технические параметры типовых УЗО

В качестве примера исполнения УЗО, отвечающего всем требованиям ГОСТ Р 51326.1-99 [30], в табл. 2.3 приведены технические характеристики «электромеханического» устройства защитного отключения серии АСТРО*УЗО (рис. 2.56) производства ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ.

На все типы УЗО—А, АС и S (селективное) производитель ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ дает гарантию 5 лет.



а) б)

Рис. 2.56. АСТРО*УЗО модели а) Ф-2211, б) Ф-4212

- а) Параметры: 2-х полюсное, $U_n = 220$ В, $I_n = 25$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 80x35x72 мм; а) Параметры: 4-х полюсное, $U_n = 380$ В, $I_n = 63$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 80x70x72 мм

На рис. 2.57 приведена осциллограмма работы АСТРО*УЗО типового исполнения.

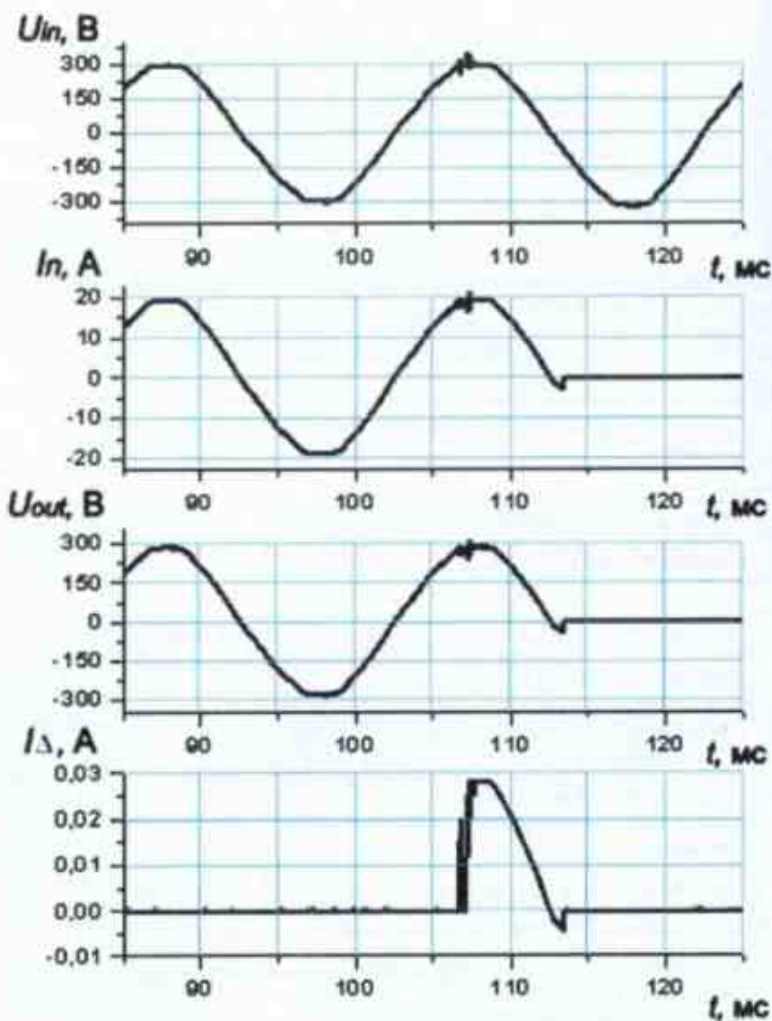


Рис. 2.57. Осциллограмма напряжений на входе и выходе устройства, тока нагрузки и дифференциального тока при срабатывании АСТРО*УЗО (Ф-3211)

U_{in} — напряжение на входе, U_{out} — напряжение на выходе, I_n — ток нагрузки, I_{Δ} — дифференциальный ток

Специальное исполнение — УЗО-вилка (АСТРО*УЗО Ф-1271). Внешний вид устройства приведен на рис. 2.58, на рис. 2.59 — осциллограмма его работы.



Рис. 2.58. АСТРО*УЗО Ф-1271

Параметры: УЗО-вилка, 2-х полюсное, $U_n = 220$ В, $I_n = 16$ А, $I_{\Delta n} = 0,03$ А, габаритные размеры: 45x60x115 мм

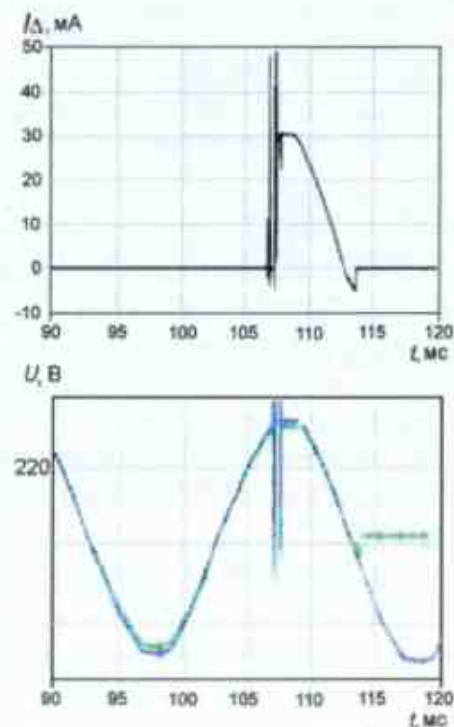


Рис. 2.59. Осциллограммы дифференциального тока и напряжений на входе и выходе устройства при срабатывании АСТРО*УЗО Ф-1271

АСТРО*УЗО Ф-1271 типа А предназначено для комплектации бытовых электроприборов — насосов, электроводонагревателей, холодильников, фенов, электронинструмента, стиральных и посудомоечных машин и т.п.

Технические параметры АСТРО*УЗО Ф-1271 приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Технические параметры АСТРО*УЗО Ф-1271

Наименование параметра	Номинальное значение
Номинальное напряжение U_n , В	220 ± 22
Номинальный ток нагрузки I_n , А	16
Номинальный отключающий дифф. $I_{\Delta n}$, mA	30
Номинальный неотключающий дифф. ток $I_{\Delta n0}$, mA	15
Потребляемая мощность, не более, Вт	0,2
Номинальная включающая и откл. способность $I_{\Delta n}$, А	500
Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta n0}$, А	500
Номинальный условный ток КЗ $I_{\Delta n}$, А	1 000
Номинальный условный дифф. ток КЗ $I_{\Delta n}$, А	1 000
Время отключения $T_{\Delta n}$, не более, мс	30
Диапазон рабочих температур, °С	-25... +40
Максимальное сечение подключаемых проводников, мм ²	6
Срок службы: — электрических циклов, не менее — механических циклов, не менее	4 000 10 000
Класс защиты	IP30

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЗО

3.1. Общие положения

При проектировании электроустановок проектные организации в числе прочих должны решать задачу выбора электрооборудования — в том числе и УЗО из предлагаемых на рынке изделий.

Задача достаточно сложная. Современный российский рынок электрооборудования очень своеобразен. По причине отсутствия жесткого государственного контроля качества применяемых электротехнических изделий, на рынке появилось огромное количество разнообразных устройств самых разных производителей, далеко не всегда отвечающих требованиям действующих нормативов. Проектировщик обязан правильно оценить достоинства и недостатки выбираемого для применения в проекте устройства.

Как техническое устройство УЗО можно охарактеризовать как коммутационный аппарат, работающий в режиме ожидания. У этого устройства нет внешних признаков, таких, как скорость, ускорение или яркость, по которым можно было бы визуально или с помощью доступных приборов определить качественно его параметры.

В принципе все устройства функционируют аналогичным образом: УЗО включено в цепь рабочего тока и при появлении тока утечки определенного значения (равного или большего уставки) размыкает силовую цепь.

Достоверно оценить быстродействие устройства, его коммутационную способность, срок службы и другие важные параметры возможно только в специализированных, аккредитованных на данный вид испытаний сертификационных центрах.

Потребитель вынужден довольствоваться информацией, предоставляемой производителем устройств, и, конечно, доверять сертификатам — сертификату соответствия и сертификату пожарной безопасности на устройства, без которых применение УЗО, согласно требованиям действующих норм, недопустимо.

При выборе УЗО следует учитывать как рабочие эксплуатационные параметры устройств, так и характеристики, определяющие их качество и надежность.

Рабочие параметры — номинальное напряжение, номинальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка по току утечки) выбираются на основе технических параметров проектируемой электроустановки. Их выбор обычно не представляет большой сложности.

Качество, следовательно, и надежность работы УЗО определяется рядом параметров, физический смысл которых далеко не так очевиден.

Это прежде всего относится к номинальному условному току КЗ $I_{\text{н}}$ и номинальной включающей и отключающей (коммутационной) способности $I_{\text{н}}$. Далее эти показатели будут рассмотрены подробно.

К сожалению, далеко не все производители УЗО приводят в документации на устройства сведения об этих параметрах.

И точно так же, далеко не все устройства, представленные на нашем рынке, отвечают требованиям нормативов.

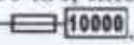
Номинальный условный ток КЗ $I_{\text{н}}$ — характеристика, определяющая надежность и прочность устройства, качество исполнения его механизма и электрических соединений.

Иногда этот параметр называют «стойкость к токам КЗ».

Стандартом ГОСТ Р 51326.1-99 [30] для УЗО установлено минимально допустимое значение $I_{\text{н}}$, равное 3 кА.

К сожалению, наши потребители не всегда обращают должное внимание на этот показатель. Пользуясь этим, недобросовестные поставщики реализуют на российском рынке

дешевые, часто морально устаревшие модели устройств с низким $I_{\text{н}}$ — 2000 А и даже 1500 А. Следствием применения таких некачественных приборов являются многочисленные возгорания и выход из строя электрооборудования. Следует заметить, что в европейских странах не допускаются к эксплуатации УЗО с $I_{\text{н}}$, меньшим, чем 6 кА. У качественных УЗО этот показатель равен 10 кА и даже 15 кА.

На лицевой панели устройств данный показатель указывается либо символом: например, $I_{\text{н}} = 10 \text{ кА}$, либо соответствующими цифрами в прямоугольнике 

Коммутационная способность УЗО — $I_{\text{н}}$, согласно требованиям норм, должна быть не менее десятикратного значения номинального тока или 500 А (берется большее значение).

Значение этого параметра конкретного устройства определяется конструкцией отключающего механизма, качеством контактов.

Качественные устройства имеют, как правило, гораздо более высокую коммутационную способность — 1000, 1500 А. Это значит, что такие устройства надежнее, и в аварийных режимах, например, при КЗ на землю, УЗО, опережая автоматический выключатель, гарантированно произведет отключение.

В настоящее время в РФ действуют три стандарта — ГОСТ Р 50807-95, ГОСТ Р 51326.1-99 (УЗО без встроенной защиты от сверхтоков) и ГОСТ Р 51327.1-99 (УЗО со встроенной защитой от сверхтоков) [29–31], которые нормируют технические параметры УЗО.

Далее подробно рассмотрены основные параметры УЗО, приведены определения этих параметров в соответствии с указанными стандартами, наиболее важные параметры представлены более детально. УЗО со встроенной защитой от сверхтоков имеют лишь несколько дополнительных характеристик. Далее по тексту устройства без встроенной защиты от сверхтоков будут называться «УЗО», а термины и определения, касающиеся УЗО со встроенной защитой от сверхтоков будут указываться специально.

3.2. Номинальное напряжение U_n

Номинальное напряжение УЗО есть значение напряжения, установленное изготовителем для заданных условий эксплуатации, при котором обеспечивается его работоспособность.

Допустимо применение четырехполосных УЗО в режиме двухполюсных, т.е. в однофазной сети, при условии, что изготовитель обеспечивает нормальное функционирование цепи эксплуатационного контроля (кнопки «Тест») при этом напряжении.

Нормами установлен также диапазон напряжений, в котором УЗО должно сохранять работоспособность, что имеет принципиальное значение для УЗО, функционально зависимых от напряжения питания.

Функционально независимые от напряжения питания (электромеханические) устройства сохраняют работоспособность при любых значениях напряжения и даже при отсутствии напряжения, например, при обрыве нулевого проводника.

3.3. Номинальное напряжение изоляции U_i

Номинальное напряжение изоляции U_i есть установленное изготовителем значение напряжения, при котором выполняются испытания изоляции и расстояния утечки УЗО. Расстояние утечки по ГОСТ Р 50345-99 [39] (приложение В) есть кратчайшее расстояние по поверхности изоляционного материала между двумя токопроводящими частями. При определении расстояния утечки относительно доступных частей следует рассматривать доступную поверхность изоляционной оболочки как токопроводящую, как если бы она была покрыта металлической фольгой во всех местах, где ее можно коснуться рукой или стандартным испытательным пальцем.

При отсутствии других указаний, значение номинального напряжения изоляции — это максимальное значение номинального напряжения УЗО. Значение максимального номинального

напряжения УЗО не должно превышать значения номинального напряжения изоляции.

3.4. Номинальный ток I_n

Номинальный ток I_n — указанный изготовителем ток, который УЗО может проводить в продолжительном режиме работы при установленной контрольной температуре окружающего воздуха.

Для УЗО со встроенной защитой от сверхтока номинальный ток I_n — это еще и ток отключения автоматического выключателя в составе УЗО, значение которого используется для определения расчетным путем или по диаграммам времени отключения при сверхтоках.

Продолжительный режим работы означает непрерывную эксплуатацию устройства в течение длительного периода времени, исчисляемого по крайней мере, годами.

В качестве стандартной контрольной температуры окружающего воздуха принято значение 30°C.

Номинальный ток I_n УЗО выбирается из ряда: 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 125 А. Для УЗО со встроенной защитой от сверхтока дополнительно введены значения 6 и 8 А.

Для УЗО значение этого тока определяется, как правило, сечением проводников в самом устройстве и конструкцией силовых контактов.

Поскольку УЗО должно быть защищено последовательным защитным устройством (ПЗУ), номинальный ток УЗО должен быть скоординирован с номинальным током ПЗУ. Для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков ПЗУ не требуется.

Номинальный ток УЗО рекомендуется выбирать равным, или на ступень большим номинального тока последовательного защитного устройства.

В зарубежных нормативных документах — например, в австрийских $\dot{O}NORM/\dot{O}VE E 8001$ [35, 84] имеется требование

установки УЗО с номинальным током на ступень выше относительно номинального тока последовательного защитного устройства.

Это означает, что, например, в цепь, защищаемую автоматическим выключателем с номинальным током 25 А, должно быть установлено УЗО с номинальным током 40 (32) А (табл. 3.1).

Целесообразность такого требования можно объяснить простым примером.

Если УЗО и автоматический выключатель имеют равные номинальные токи, то при протекании рабочего тока, превышающего номинальный, например, на 45%, т.е. тока перегруз-

Таблица 3.1

Номинальные токи ПЗУ и последовательно включенного УЗО

Устройство	Номинальный ток нагрузки I_n						
	10	16	25	40	63	80	100
ПЗУ	10	16	25	40	63	80	100
УЗО	16	25	40	63	80	100	125

ки, этот ток будет отключен автоматическим выключателем за период времени длительностью до одного часа. Это означает, что в течение этого времени УЗО будет перегружено.

Очевидно, что этот недостаток органически присущ УЗО со встроенной защитой от сверхтоков, имеющих один общий (и для УЗО и для встроенного автоматического выключателя) параметр — номинальный ток нагрузки.

3.5. Номинальная частота f_n

Номинальная частота f_n — промышленная частота, на которую рассчитано УЗО и которой соответствуют значения других характеристик.

Существуют специальные УЗО, рассчитанные на определенный диапазон частот — например, 16 ... 60 Гц, 150 ... 400 Гц и даже от 1-го Гц до 1-го МГц (тип В).

3.6. Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ есть значение отключающего дифференциального тока, указанное изготовителем, при котором УЗО должно срабатывать при заданных условиях. В отечественной электротехнической практике и, в частности, в релейной защите многие годы применяется термин «уставка». Применительно к УЗО номинальный отключающий дифференциальный ток и есть уставка.

Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) УЗО выбирается из следующего ряда: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА.

На практике уставку УЗО для каждого конкретного случая применения выбирают с учетом следующих факторов:

— значения существующего в данной электроустановке суммарного (с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников) тока утечки на землю — так называемого «фонового тока утечки»;

— значения допустимого тока через человека на основе критериев электробезопасности;

— реального значения отключающего дифференциального тока УЗО, которое в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50807-95 [29] находится в диапазоне $0,5 I_{\Delta n} \dots I_{\Delta n}$.

Согласно требованиям ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.83) [14] номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО (уставка) должен не менее чем в три раза превышать суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки — I_{Σ} .

$$I_{\Delta n} \geq 3 I_{\Sigma}$$

Суммарный ток утечки электроустановки измеряется специальными приборами (гл. 7 настоящего издания) либо определяется расчетным путем.

При отсутствии фактических (замеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ (п. 7.1.83) [14] предписывают принимать ток утечки электроприемников из расчета **0,4 мА на 1 А тока нагрузки**, а ток утечки цепи из расчета **10 мкА на 1 м длины фазного проводника**.

Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока — $I_{\Delta n}$ (уставки) УЗО для диапазона номинальных токов 16 ... 125 А приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Рекомендуемые значения $I_{\Delta n}$ УЗО для номинальных токов от 16 до 125 А

Номинальный ток в зоне защиты, А	16	25	40	63	80...125
$I_{\Delta n}$ при работе в зоне защиты одиночного потребителя, мА	10	30	30	30	100
$I_{\Delta n}$ при работе в зоне защиты группы потребителей, мА	30	30	30 (100)	100	300
$I_{\Delta n}$ УЗО противопожарного назначения на ВРУ (ВРЩ), мА	300	300	300	300	500

В некоторых случаях, для определенных потребителей значение уставки задается нормативными документами.

В ГОСТ Р 50669-94 [36] применительно к зданиям из металла или с металлическим каркасом задается значение уставки УЗО не выше 30 мА.

Временные указания [37] предписывают:

— для сантехнических кабин, ванн и душевых устанавливать УЗО с током срабатывания 10 мА, если на них выделена отдельная линия;

— в остальных случаях (например, при использовании одной линии для сантехнической кабины, кухни и коридора) допускается использовать УЗО с уставкой 30 мА (п. 4.15);

— в индивидуальных жилых домах для групповых цепей, питающих штепсельные розетки внутри дома, включая подвалы, встроенные и пристроенные гаражи, а также в групповых сетях, питающих ванные комнаты, душевые и сауны УЗО с уставкой 30 мА;

— для устанавливаемых снаружи штепсельных розеток УЗО с уставкой 30 мА (п. 6.5).

В ПУЭ (7-е изд. п. 7.1.84) [14] рекомендуется для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части на вводе в квартиру, индивидуальный дом и тому подобное установка УЗО с током срабатывания до 300 мА.

Штепсельные розетки строительных площадок должны быть предохранены путем применения УЗО с током срабатывания не более 30 мА (п. 704.471 ГОСТ Р 50571.23-2000) [90].

Для защиты от пожаров электрическая цепь должна быть предохранена УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током, не превышающим 0,5 А (п. 482.2.10 ГОСТ Р 50571.17-2000) [38].

В качестве примера в табл. 3.3 приведены предписываемые немецкими электротехническими нормами VDE значения уставок по току утечки для различных объектов.

Как указывалось в разделе 2.3 данного издания, УЗО типа AC реагирует на переменный синусоидальный дифференциальный ток, а типа A — на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток.

Поскольку действующее значение пульсирующего выпрямленного переменного тока отличается от действующего значения переменного тока той же амплитуды, значение отключающего дифференциального тока у УЗО типа A также отличается от аналогичного параметра УЗО типа AC.

В ГОСТ Р 51326.1-99 (табл.17) [30] приведены диапазоны тока расцепления УЗО типа А в зависимости от формы сигнала (угла задержки) дифференциального тока — таблица 3.4.

Таблица 3.3
Предписываемые нормами VDE значения $I_{\Delta n}$ для различных объектов

Раздел VDE	Применение	$I_{\Delta n}$ (уставка)
0100 – 559	Светильники, осветительные установки	≤ 30 мА
0100 – 701	Ванные и душевые	≤ 30 мА
0100 – 702	Крытые и открытые бассейны	≤ 30 мА
0100 – 704	Строительные площадки Розеточные цепи (однофазные) до 16 А Прочие розеточные цепи (более 32 А)	≤ 30 мА ≤ 300 мА
0100 – 0705	Сельскохозяйственные электроустановки общие цепи розеточные цепи	≤ 300 мА ≤ 30 мА
0100 – 706	Помещения с электропроводящими стенами и ограниченными возможностями перемещения	≤ 30 мА
0100 – 708	Пункты питания для мобильных фургонов	≤ 30 мА
0100 – 482 п. 482.1.7	Пожароопасные производственные помещения	≤ 30 мА
0100 – 721	Передвижные жилые фургоны, катера и яхты, системы электропитания кемпинговых площадок	≤ 30 мА
0100 – 722 п. 4.1.1.2	Мобильные объекты, автомобили, жилые вагончики ($R_s \leq 30$ Ом)	≤ 500 мА
0100 – 723 п. 723.412.5.3	Экспериментальные стенды	≤ 30 мА
0100 – 728	Системы резервированного питания ($R_s \leq 100$ Ом)	≤ 500 мА
0100 – 737	Сырые и влажные помещения Открытые установки: розеточные цепи до 32А	≤ 30 мА
0100 – 738	Фонтаны	≤ 30 мА

Продолжение таблицы 3.3

Раздел VDE	Применение	$I_{\Delta n}$ (уставка)
0100 – 739	Дополнительная защита от прямого прикосновения в жилых помещениях	≤ 30 мА
0100 – 470	Розеточные цепи в открытых электроустановках	≤ 30 мА
0107	Медицинские помещения при $I \leq 63$ А при $I > 63$ А	$I_{\Delta n} \leq 30$ мА $I_{\Delta n} \leq 300$ мА
0118 – 1	Подземные сооружения	≤ 500 мА
0544 ч. 100	Электросварочные установки, оборудование дуговой сварки	≤ 30 мА
0544 – 1	Установки точечной сварки	свободный выбор
0660 – 501	Распределительные щиты на стройплощадках	≤ 500 мА
0832	Устройства регулирования уличного движения, светофоры ($I_p \leq 25$ А)	≤ 500 мА

УЗО типа А проверяют на правильность работы при равномерном нарастании дифференциального пульсирующего постоянного тока от нуля до значения $2 I_{\Delta n}$ (для УЗО с $I_{\Delta n} \leq 10$ мА) или до $1,4 I_{\Delta n}$ (для УЗО с $I_{\Delta n} > 10$ мА) за 30 секунд.

Аналогично проверяют УЗО типа А на правильность работы при наложении гладкого постоянного тока 0,006 А. Наложен-

Таблица 3.4
Диапазоны тока расцепления УЗО типа А в зависимости от формы сигнала (угла задержки) дифференциального тока

Угол задержки тока, α	Отключающий ток	
	Нижний предел	Верхний предел
0°	$0,35 I_{\Delta n}$	$1,4 I_{\Delta n}$ (при $I_{\Delta n} > 0,01$ А)
90°	$0,25 I_{\Delta n}$	
135°	$0,11 I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$ (при $I_{\Delta n} \leq 0,01$ А)

ный гладкий постоянный ток 6 мА не должен оказывать влияния на значение отключающего дифференциального тока.

Таким образом, отключающий дифференциальный ток УЗО типа *A* при протекании пульсирующих дифференциальных токов, может иметь значения от $0,11 I_{\Delta n}$ до $2 I_{\Delta n}$.

3.7. Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta no}$

Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta no}$ — есть значение неотключающего дифференциального тока, указанное изготовителем, при котором УЗО не срабатывает при заданных условиях.

Выше указывалось, что номинальный неотключающий синусоидальный дифференциальный ток УЗО равен половине значения тока уставки:

$$I_{\Delta no} = 0,5 I_{\Delta n}$$

Это означает, что значение отключающего синусоидального тока находится в интервале между номинальным отключающим дифференциальным током и номинальным неотключающим дифференциальным током. Если через УЗО протекает дифференциальный ток, меньший номинального неотключающего дифференциального тока, УЗО не должно срабатывать.

Значение синусоидального дифференциального тока, при котором УЗО автоматически срабатывает, должно находиться в диапазоне от $I_{\Delta no}$ до $I_{\Delta n}$ — диапазоне срабатывания.

Для УЗО типа *A* при пульсирующем постоянном дифференциальном токе диапазон срабатывания зависит от угла задержки тока (табл. 3.4).

Из таблицы следует, что диапазон срабатывания для УЗО типа *A* при пульсирующем постоянном дифференциальном токе

значительно шире, чем при синусоидальном дифференциальном токе. Его нижний предел равен $0,11 I_{\Delta n}$, а верхний предел превышает номинальный отключающий дифференциальный ток и может быть равен $1,4 I_{\Delta n}$ или $2 I_{\Delta n}$ (в зависимости от $I_{\Delta n}$ УЗО).

Таким образом, для УЗО типа *A* номинальный неотключающий синусоидальный дифференциальный ток равен $0,5 I_{\Delta n}$, а минимальный (при угле задержки 135°) неотключающий пульсирующий постоянный дифференциальный ток равен $0,11 I_{\Delta n}$.

При проектировании электроустановок и выборе уставок УЗО необходимо учитывать существующие «фоновые» токи и указанную особенность УЗО типа *A*.

3.8. Номинальное время отключения T_n

Стандарты ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99 [30, 31] устанавливают два временных параметра УЗО — время отключения и предельное время неотключения (для УЗО типа *S*). Время отключения УЗО есть промежуток времени между моментом внезапного появления отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах УЗО.

Определенные стандартами значения максимально допустимого времени отключения УЗО типов *AC* и *A* приведены в гл. 2 (табл. 2.2). Это 0,3 с при номинальном отключающем дифференциальном токе — $I_{\Delta n}$, 0,15 с при двукратном токе $I_{\Delta n}$ и 0,04 с при пятикратном $I_{\Delta n}$ или дифференциальном токе, равном 500 А.

Испытания УЗО типа *A* проводят при значениях токов $I_{\Delta n}$, $2I_{\Delta n}$, $5I_{\Delta n}$ и 500 А с коэффициентом 1,4 (при $I_{\Delta n} > 0,01$ А) и с коэффициентом 2 (при $I_{\Delta n} \leq 0,01$ А).

Стандартные значения допустимого времени отключения и неотключения для УЗО типа *S* при любом номинальном токе нагрузки свыше 25 А и значениях номинального дифференциального тока свыше 0,03 А не должны превышать приведенных в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Допустимое время отключения и неотключения для УЗО
типа S

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

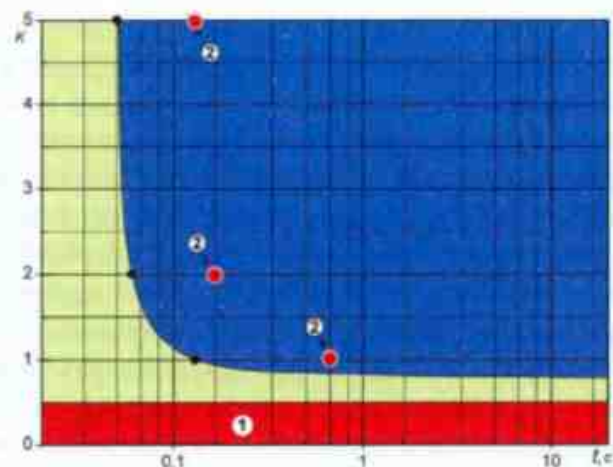
Предельное время неотключения (несрабатывания) для УЗО типа S есть максимальный промежуток времени с момента возникновения в главной цепи УЗО отключающего дифференциального тока до момента трогания размыкающих контактов. Предельное время неотключения является выдержкой времени, позволяющей достичь селективности действия УЗО при работе в многоуровневых системах защиты (см. раздел 6.5).

Временные характеристики УЗО приведены в таблице 3.6. Из таблицы 3.6 следует, что предельно допустимое время отключения УЗО—0,3 с (0,5 с для УЗО типа S).

Таблица 3.6

Стандартные значения времени отключения и
неотключения УЗО

Тип УЗО	$I_{\Delta n}$ А	$I_{\Delta n}$ А	Стандартные значения времени отключения и неотключения, с, при дифференциальном токе				
			$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 А	
Общий	Любое значение		0,3	0,15	0,04	0,04	Максимальное время отключения
S	≤ 25	$> 0,03$	0,5	0,2	0,15	0,15	
			0,13	0,06	0,05	0,04	Минимальное время неотключения

Рис. 3.1. Токовременная характеристика УЗО ($K = I_{\Delta n} / I_{\Delta n}$)

- 1) зона неотключения;
2) граничные значения согласно ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99

В действительности, современные качественные электромагнитические УЗО имеют быстродействие 20 ... 30 мс.

Это означает, что УЗО— «быстрый» выключатель, поэтому на практике возможны ситуации, когда УЗО срабатывает раньше аппарата защиты от сверхтоков и отключает как токи нагрузки, так и сверхтоки. Принцип селективности работы УЗО иллюстрируется графиком на рис. 2.47 (гл. 2 настоящего издания).

3.9. Предельное значение сверхтока неотключения I_{nt}

При протекании сверхтока через главную цепь УЗО возможно его срабатывание даже при отсутствии в его главной цепи дифференциального тока— происходит так называемое «ложное» отключение УЗО. Причиной ошибочного срабатывания УЗО является появление во вторичной обмотке дифференциального трансформатора тока небаланса, превышающего порог чувствительности магнитоэлектрического реле (или электронного порогового элемента) УЗО.

Стандарт ГОСТ Р 51326.1-99 [30] устанавливает предельное значение сверхтока, протекающего через главную цепь УЗО, не вызывающего его автоматического срабатывания при условии отсутствия в главной цепи УЗО дифференциального тока.

Это значение равно $6 I_n$ как для случая многофазной равномерной нагрузки многополюсного УЗО, так и для случая однофазной нагрузки трех- и четырехполюсного УЗО.

Параметр «предельное значение сверхтока неотключения» характеризует способность УЗО не реагировать на симметричные токи КЗ и перегрузки (до определенного значения) и является важным показателем качества устройства.

Неправильно считать, что при достижении током замыкания значения, равного «предельному значению сверхтока неотключения», УЗО должно производить отключение цепи.

Нормы определяют минимальное значение неотключающего тока, максимальное значение неотключающего сверхтока не нормируется и может намного превышать $6I_n$.

Для УЗО с защитой от сверхтоков данный параметр имеет другой смысл, поскольку сверхток отключается встроенным в УЗО автоматическим выключателем. В ГОСТ Р 51327.1-99 [31] включены требования по проверке предельного тока несрабатывания в случае КЗ. Методика испытаний предусматривает проверку предельного значения сверхтока в случае однофазной нагрузки четырехполюсного УЗО. Для этого в главной цепи УЗО устанавливают ток, равный 0,8 от значения нижнего предела соответствующих характеристик мгновенного расцепления (типов В— $2,4 I_n$, С— $4 I_n$ и D— $8 I_n$). УЗО не должно отключиться в течение 1 секунды.

3.10. Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_m

Номинальная включающая и отключающая способность является одной из важнейших характеристик УЗО, определяющей его качество и надежность. Согласно ГОСТ Р 51326.1-99 [30] номинальная наибольшая включающая и отключающая способность — это среднеквадратичное значение переменной составляющей ожидаемого тока, указанное изготовителем, которое УЗО способно включать, проводить и отключать при заданных условиях (при наличии в главной цепи УЗО отключающего дифференциального тока). Согласно требованиям стандарта I_m должен быть не менее $10 I_n$ или 500 А (берется большее значение).

Коммутационная способность зависит от уровня технического исполнения устройства — качества силовых контактов, мощности пружинного привода, материала (пластмассовых или металлических деталей) и качества механизма, наличия дугогасящей камеры и др. Этот параметр в значительной степени определяет надежность УЗО. В некоторых аварийных режимах УЗО должно осуществлять отключение сверхтоков, опережая автоматический выключатель, при этом оно должно сохранить свою работоспособность.

3.11. Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta m}$

Согласно ГОСТ Р 51326.1-99 [30] номинальная наибольшая дифференциальная включающая и отключающая способность $I_{\Delta m}$ — это среднеквадратичное значение переменной составляющей ожидаемого дифференциального тока, указанное изготовителем, которое УЗО способно включать, проводить и отключать при заданных условиях. Минимальное значение

номинальной наибольшей дифференциальной включающей и отключающей способности $I_{\Delta n}$ есть $10 I_n$ или 500 А (выбирают большее значение).

3.12. Номинальный условный ток КЗ I_{nc}

Номинальный условный ток КЗ — важнейший параметр УЗО, характеризующий, прежде всего, качество изделия.

Указанное заводом-изготовителем значение этого параметра проверяется при сертификационных испытаниях устройства.

Сертификационные испытания проводятся на специальных стендах по методике, изложенной в стандартах [30, 31]. Схема испытательной установки для проверки номинального условного тока КЗ приведена на рис. 3.2.

Значения номинального условного тока КЗ стандартизованы и равны: 3 000, 4 500, 6 000 и 10 000 А.

Смысл испытания заключается в определении термической и электродинамической стойкости изделия при протекании сверхтоков.

При испытании на специальном стенде создается цепь из мощного источника и нагрузки, обеспечивающая протекание через УЗО заданного сверхтока в течение очень короткого времени — до момента срабатывания защитного устройства (плавких вставок в виде серебряных проводников калиброванного сечения или просто калиброванных предохранителей).

Испытательный ток (рис. 3.3) не достигает заданного амплитудного значения, поскольку отключается ранее последовательно включенным защитным аппаратом с нормированной уставкой. Однако крутизна фронта электрического импульса, приложенного к УЗО, и энергия, проходящая через УЗО при таком испытании, очень велики. Если устройство сохраняет работоспособность после такого жесткого испытания, это означает, что качество его на высоком уровне.

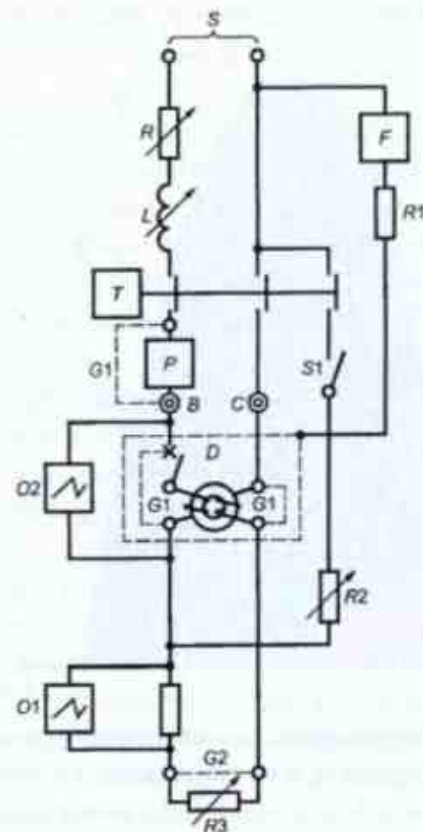


Рис. 3.2. Схема испытательной установки для проверки номинального условного тока КЗ

S — источник питания; R — регулируемые резисторы; L — регулируемые реакторы; P — устройство защиты от КЗ (ПЗУ); D — испытуемое УЗО; $G1$ — временные переключки для калибровки; $G2$ — переключки для испытания на номинальном условном токе КЗ; T — устройство, создающее КЗ; $O1$ — регистрирующий датчик (датчики) тока; $O2$ — регистрирующий датчик (датчики) напряжения; F — устройство для обнаружения тока замыкания; $R1$ — резистор, ограничивающий ток в устройстве F ; $R2$ — регулируемый резистор для калибровки тока; $R3$ — дополнительный регулируемый резистор для получения тока ниже номинального условного тока КЗ; $S1$ — вспомогательный выключатель; B и C — клеммы для подключения внешнего дугогасящего устройства

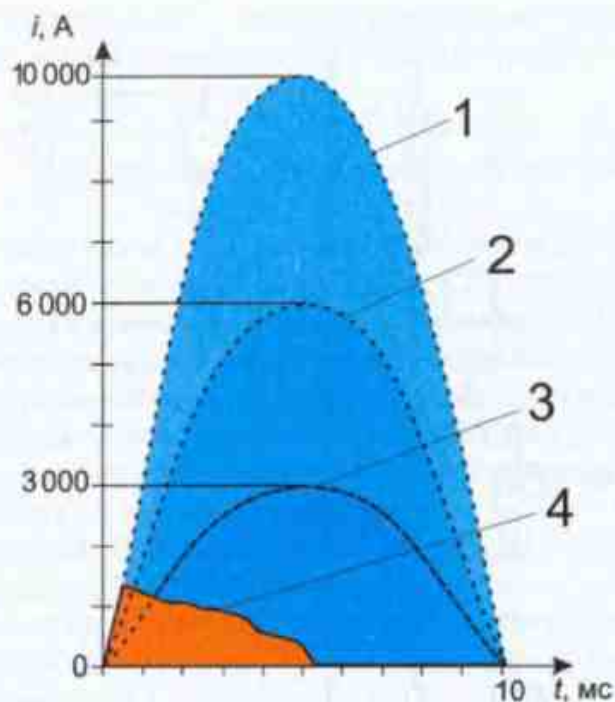


Рис. 3.3. Испытательные импульсы условного тока КЗ — 10 000 (кривая 1), 6 000 (кривая 2) и 3 000 А (кривая 3) и реальный ток испытания (кривая 4)

Значение $I_{\text{н.с.}}$ как важнейшего параметра УЗО, должно быть приведено на лицевой панели устройства или в сопроводительной технической документации на УЗО.

К УЗО типов S и G (с задержкой срабатывания) предъявляются повышенные требования по данному параметру, поскольку предполагается, что, во-первых, УЗО этого типа устанавливаются на головном участке сети, где токи КЗ, естественно, выше, во-вторых, такие устройства, имея задержку по срабатыванию, могут находиться под воздействием аварийных токов более продолжительное время.

3.13. Номинальный условный дифференциальный ток КЗ $I_{\Delta c}$

Данный параметр и методика испытания аналогичны рассмотренным в п. 3.12. Главным отличием испытания на воздействие импульса дифференциального тока КЗ от испытания по п. 3.12 является то, что при испытаниях УЗО на стойкость к дифференциальному току КЗ испытательный сверхток пропускают поочередно по отдельным полюсам УЗО. Это означает, что данное испытание еще жестче, чем вышеописанное, так как в этом случае отсутствует взаимная компенсация магнитных полей токов первичной обмотки дифференциального трансформатора тока.

Значения номинального условного дифференциального тока КЗ $I_{\Delta c}$ определены стандартом и равны: 3 000, 4 500, 6 000 и 10 000 А.

Данный параметр характеризует стойкость устройства к протеканию сверхтока по одному полюсу.

УЗО при дифференциальном сверхтоке сработает с максимальным быстродействием, однако в этом случае, поскольку сверхток трансформируется во вторичную обмотку, очень высока нагрузка на дифференциальный трансформатор тока и на магнитоэлектрическое реле.

Для УЗО, зависящих от напряжения питания, режим дифференциального сверхтока особенно опасен. Известны случаи выхода из строя входных цепей электронных усилителей, подключенных ко вторичной обмотке трансформатора тока.

На практике режим дифференциального сверхтока возникает, например, в системе TN-C-S при глухом замыкании за УЗО фазного проводника на PE-проводник.

3.14. Характеристика I^2t (интеграл Джоуля)

В электроэнергетике интеграл Джоуля — интеграл квадратичного тока по данному интервалу времени применяется

для оценки термической и электродинамической стойкости кабелей, шин, соединений, электрических аппаратов и др. при КЗ. Интеграл определяется расчетным путем по значению тока КЗ за интервал времени — от момента возникновения КЗ до момента погасания дуги на контактах силового выключателя. Данный параметр позволяет определить количество энергии, выделившейся на определенном объекте при адиабатическом (без теплопередачи) процессе за время действия КЗ.

Применительно к УЗО стандарт определяет характеристику I^2t как кривую, дающую максимальное значение I^2t как функцию ожидаемого тока в указанных условиях эксплуатации.

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt$$

Интеграл Джоуля определяет количество энергии, пропущенной через УЗО при испытаниях на условный ток КЗ. Характеристика эта энергетическая, она позволяет комплексно оценить стойкость устройства при прохождении через него определенного количества энергии. При протекании через УЗО испытательного тока часть энергии выделяется в конструкции УЗО в виде тепла, динамических усилий, приложенных к проводникам, изоляционным элементам устройства.

В ГОСТ Р 51326.1-99 [30] содержится требование: «Изготовитель должен сообщить выдерживаемые УЗО значения интеграла Джоуля I^2t и пикового тока I_p . В случае, если они не определены, применяют минимальные значения». В табл. 3.7 приведены нормируемые вышеуказанным стандартом (с дополнениями из МЭК 23E/425/CD:2000-05) значения I_p и I^2t .

Интеграл Джоуля для УЗО с защитой от сверхтоков имеет несколько иной смысл. Он определен для встроенного устройства защиты от сверхтоков — автоматического выключателя.

Интеграл Джоуля как характеристика автоматического выключателя определяет количество энергии, которую способен

Таблица 3.7

Значения интеграла Джоуля и I^2t и пикового тока I_p для разных классов УЗО по номинальному условному току КЗ

$I_{\text{н}}^*$ $I_{\text{н}}, \text{A}$	I_p , кА I^2t , кА ² с	$I \leq 16$	$I \leq 20$	$I \leq 25$	$I \leq 32$	$I \leq 40$	$I \leq 63$	$I \leq 80$	$I \leq 100$	$I \leq 125$
3 000	I_p I^2t	1,1 1,2	1,2 1,8	1,4 2,7	1,85 4,5	2,35 8,7	3,3 22,5	3,5 26,0	3,8 42,0	3,95 72,5
4 500	I_p I^2t	1,15 1,45	1,3 2,1	1,5 3,1	2,05 5,0	2,7 9,7	3,9 24,0	4,3 31,0	4,8 45,0	5,6 82,0
6 000	I_p I^2t	1,3 1,6	1,4 2,4	1,7 3,7	2,3 6,0	3,0 11,5	4,05 25,0	4,7 31,0	5,3 48,0	5,8 82,0
10 000	I_p I^2t	1,45 1,9	1,8 2,7	2,2 4,0	2,6 6,5	3,4 12,0	4,3 28,0	5,1 31,0	6,0 48,0	6,4 82,0

пропустить через себя автоматический выключатель до момента отключения тока КЗ.

Этот показатель приобрел особое значение с появлением современных автоматических выключателей с токоограничивающими свойствами, достигаемыми специальными конструктивными решениями — в частности, специальной конструкцией дугогасительной камеры и системы магнитного дутья для гашения дуги. В старых конструкциях автоматических выключателей с естественным погасанием дуги в момент перехода тока через «ноль» интеграл Джоуля определялся полной полуволной синусоидального тока. Интеграл Джоуля автоматических выключателей с токоограничивающими свойствами гораздо меньше (рис. 3.3) — в качественных выключателях дуга гасится за четверть периода промышленной частоты.

По показателю токоограничения автоматические выключатели подразделяются на три класса селективности — 1, 2, 3. Чем выше класс выключателя, тем большую энергию он способен пропустить, тем меньше термическое действие тока КЗ в защищаемой цепи.

В настоящее время в европейских странах, как правило, нормы устройства электроустановок для жилых зданий допускают

к применению автоматические выключатели с номинальной отключающей способностью не менее 6 000 А и классом ограничения энергии не ниже 3. Автоматические выключатели маркируются соответствующим знаком — например, $\frac{6000}{3}$.

На рис. 3.4 приведены осциллограммы тока КЗ без ограничения и с ограничением автоматическим выключателем тока КЗ и графическая интерпретация соотношения значений интеграла Джоуля обычных автоматических выключателей и имеющих функцию токоограничения.

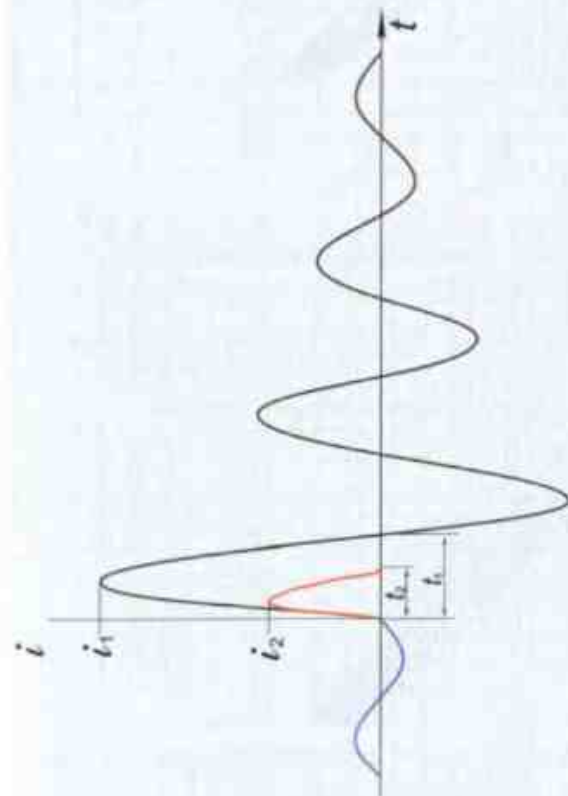
Предельные значения характеристики I^2t (пропускаемой энергии в A^2c) по ГОСТ Р 50345-99 [39] для автоматических выключателей 16 А (тип В) и от 20 А до 32 А (тип В) приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8

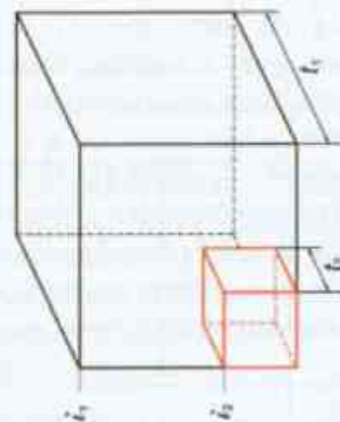
Предельные значения характеристики I^2t
для автоматических выключателей 16 А (тип В)
и от 20 А до 32 А (тип В)

Номинальная отключающая способность, А	Класс ограничения энергии		
	1	2	3
$I_n \leq 16$ А			
3 000	Не нормируется	31 000	15 000
6 000		100 000	35 000
10 000		240 000	70 000
$20 \text{ А} < I_n \leq 32$ А			
3 000	Не нормируется	40 000	18 000
6 000		130 000	45 000
10 000		310 000	90 000

Примеры характеристик I^2t и I_p (пикового тока) автоматических выключателей приведены на рис 3.5.



а)



б)

Рис. 3.4. Осциллограммы токов КЗ—а) и графическая интерпретация соотношения значений интеграла Джоуля—б) обычных автоматических выключателей (ток i_1 , время отключения t_1) и токоограничивающих—класс селективности 3 (ток i_2 , время отключения t_2)

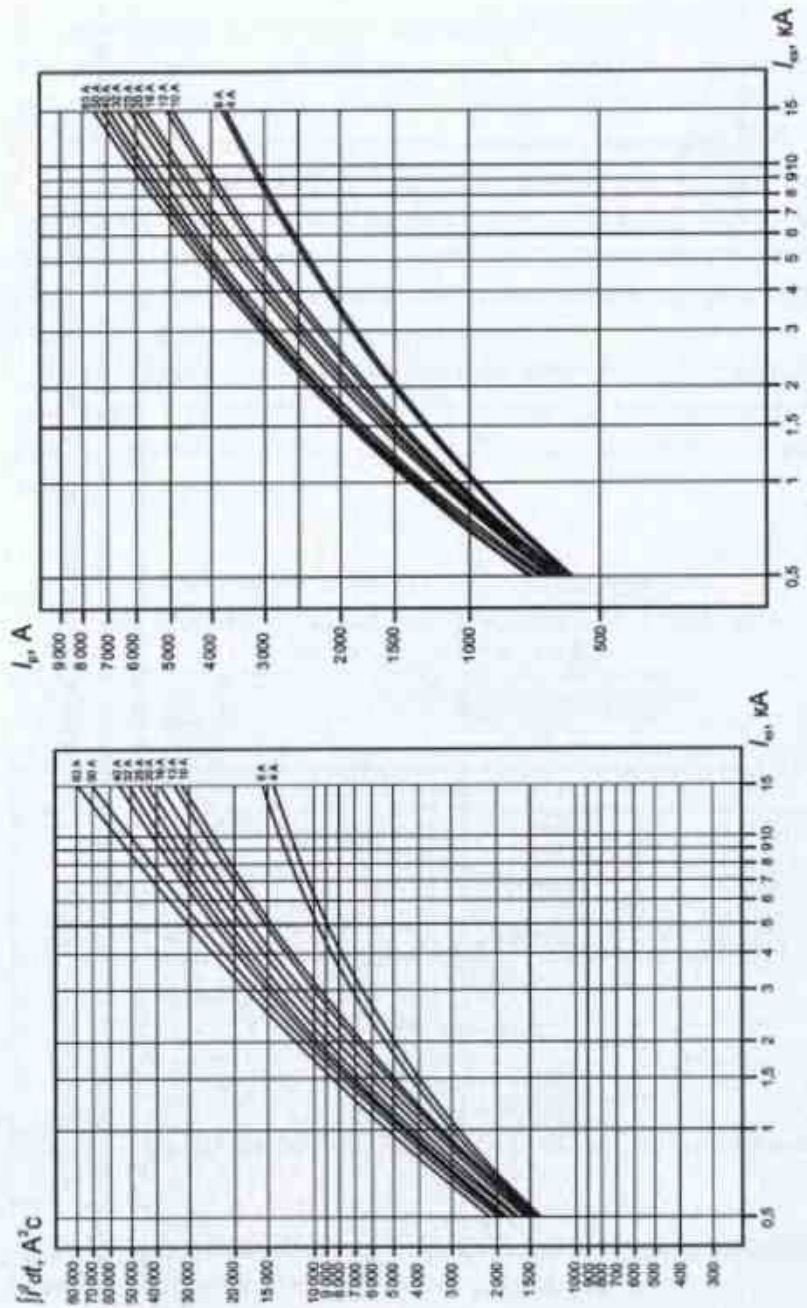


Рис. 3.5. Пример характеристик I_t и I_p автоматического выключателя

На рис. 3.6 приведены характеристики I_t АСТРО*УЗО без встроенной защиты от сверхтоков.

Для автоматических выключателей, являющихся составной частью УЗО со встроенной защитой от сверхтоков, стандарт ГОСТ Р 51327.1-99 [31] устанавливает зону времятоковой характеристики аналогично требованиям для автоматических выключателей в ГОСТ Р 50345-99 [39]. Зона времятоковой характеристики расцепления УЗО со встроенной защитой от сверхтоков определена условиями и значениями, установленными в таблице 3.9.

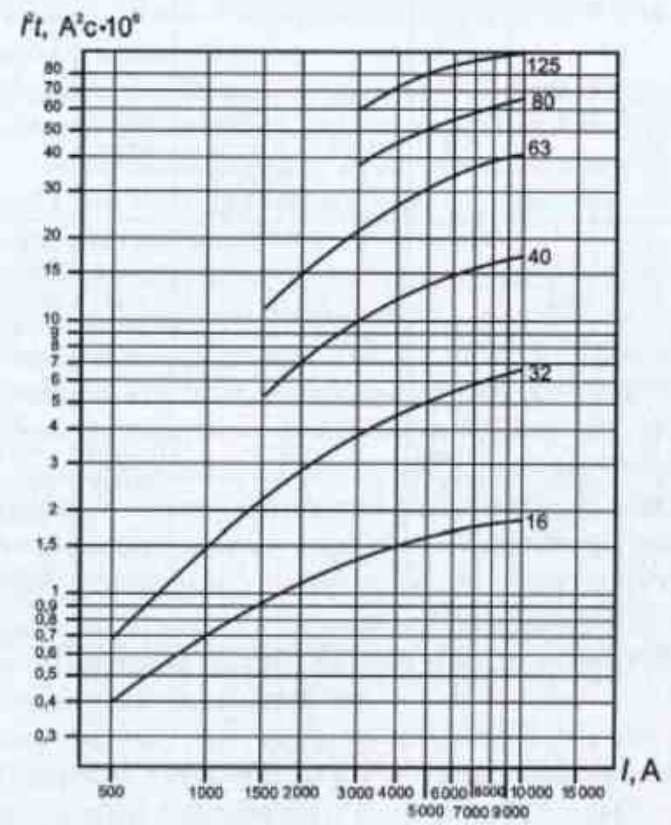


Рис. 3.6. Характеристики I_t АСТРО*УЗО без встроенной защиты от сверхтоков

Времятоковые характеристики автоматических выключателей по ГОСТ Р 50345-99

Испытание	Тип	Испытательный ток	Начальное состояние	Время расцепления или нерасцепления	Требуемый результат	Примечание
a	B, C, D	$1,13 I_n$	Холодное	$t \geq 1$ ч (при $I_n \leq 63$ А) $t \geq 2$ ч (при $I_n > 63$ А)	Без расцепления	—
b	B, C, D	$1,45 I_n$	Немедленно после испытания a	$t < 1$ ч (при $I_n < 63$ А) $t < 2$ ч (при $I_n > 63$ А)	Расцепление	Непрерывное нарастание тока в течение 5 с
c	B C D	$2,55 I_n$	Холодное	1 с $< t < 60$ с (при $I_n < 32$ А) 1 с $< t < 120$ с (при $I_n > 32$ А)	Расцепление	—
d	B C D	$3 I_n$ $5 I_n$ $10 I_n$	Холодное	$t > 0,1$ с	Без расцепления	Ток создается замыканием вспомогательного выключателя
e	B C D	$5 I_n$ $10 I_n$ $50 I_n$	Холодное	$t < 0,1$ с	Расцепление	Ток создается замыканием вспомогательного выключателя

3.15. Номинальная наибольшая коммутационная способность I_{cn}

Для УЗО с защитой от сверхтока ГОСТ Р 51327.1-99 [31] определяет данный параметр следующим образом: «Номинальная наибольшая коммутационная способность I_{cn} — есть значение предельной наибольшей отключающей способности, указанное изготовителем».

Предельная наибольшая отключающая способность есть отключающая способность, для которой предписанные условия согласно указанному циклу испытаний не предусматривают способности УЗО проводить в течение условленного времени ток, равный 0,85 тока неотключения.

Рассматриваемая характеристика в ГОСТ Р 50345-99 [39] названа «номинальная отключающая способность».

Стандартные значения по ГОСТ Р 51327.1-99 [31] номинальной наибольшей коммутационной способности до 10 000 А включительно равны — 1 500, 3 000, 4 500, 6 000, 10 000 А.

В стандарте указывается, что при испытаниях каждое УЗО с защитой от сверхтоков должно обеспечить одно отключение испытательной электрической цепи с ожидаемым сверхтоком, равным номинальной наибольшей коммутационной способности, а также одно включение с последующим автоматическим отключением электрической цепи, в которой протекает указанный испытательный ток.

После проведения этих испытаний УЗО не должны иметь повреждений, ухудшающих его эксплуатационные свойства, а также должны выдержать установленные стандартом испытания на электрическую прочность и проверку характеристики расцепления.

3.16. Рабочая наибольшая отключающая способность I_{cs}

Рабочая наибольшая отключающая способность УЗО с защитой от сверхтоков — это отключающая способность, для которой предписанные условия согласно указанному циклу испытаний предусматривают способность проводить в течение установленного времени ток, равный 0,85 тока нерасцепления.

Соотношение между рабочей I_{cs} и номинальной I_{cn} наибольшими коммутационными способностями согласно табл.18 ГОСТ Р 51327.1-99 [31] следующие.

Для $I_{cn} \leq 6\,000\text{ А}$ $I_{cs} = I_{cn}$, для интервала от 6 000 А до 10 000 А $I_{cs} = 0,75 I_{cn}$, но не менее 6 000 А, для $I_{cn} > 10\,000\text{ А}$ $I_{cs} = 0,5 I_{cn}$, но не менее 7 500 А.

4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗО

4.1. Нормальные условия эксплуатации

К УЗО, в силу его особого назначения — защиты жизни и имущества человека, предъявляются чрезвычайно высокие требования по надежности, помехоустойчивости, термической и электродинамической стойкости, материалам и исполнению конструкции. Этими особыми требованиями отчасти объясняется сравнительно высокая стоимость современных качественных, отвечающих требованиям стандартов и имеющих соответствующие сертификаты УЗО.

Стандарты ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99 [30, 31] определяют следующие нормальные условия эксплуатации УЗО:

— температура окружающего воздуха — от -5°C до $+40^{\circ}\text{C}$, среднесуточное значение — не более $+35^{\circ}\text{C}$ (хранение изделий допускается при температуре окружающего воздуха от -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$);

— высота места установки над уровнем моря не должна превышать 2 000 м;

— относительная влажность воздуха — не более 50% при температуре окружающего воздуха $+40^{\circ}\text{C}$ (увеличение возможно при меньших значениях температуры окружающего воздуха, например, до 90% при $+20^{\circ}\text{C}$);

— внешние магнитные поля не должны превышать пятикратного значения магнитного поля Земли в любом направлении;

- частота — номинальное значение частоты $\pm 5\%$;
- искажение синусоидальной формы кривой — не более 5%.

4.2. Превышение температуры

В процессе эксплуатации при протекании через УЗО рабочего тока нагрузки происходит нагрев токоведущих элементов и конструкции устройства.

Стандарт ГОСТ Р 51326.1-99 [30] определяет пределы превышения температуры частей УЗО (относительно температуры окружающего воздуха) при протекании по его главной цепи тока, равного номинальному.

В таблице 4.1 приведены значения превышения температуры, определенные стандартами.

Таблица 4.1

Пределы превышения температуры частей УЗО

Части	Превышение температуры, °К
Выводы для внешних соединений	65
Наружные части, к которым приходится прикасаться во время ручного управления УЗО, включая органы управления, выполненные из изоляционного материала, и металлические связи для соединения между собой изолированных органов управления нескольких полюсов	40
Наружные металлические части органов управления	25
Другие наружные части, включая поверхность УЗО, непосредственно соприкасающуюся с монтажной поверхностью	60

4.3. Степень защиты

Согласно требованиям ГОСТ Р 14254-96 [15] степень защиты УЗО в нормальных условиях эксплуатации — после завершения монтажа должна соответствовать классу *IP20*.

Согласно ГОСТ Р 51327.1-99 [31] УЗО должны быть сконструированы таким образом, чтобы после монтажа и подсоединения как для нормальной эксплуатации их части, находящиеся под напряжением, были недоступны для прикосновения. Некоторые фирмы выпускают УЗО более высокого класса защиты — например, *IP25*, *IP40*. При установке УЗО в особых климатических условиях его помещают в защитный кожух.

4.4. Функция разъединения

Согласно ГОСТ Р 51327.1-99 [31] УЗО есть механический коммутационный аппарат, предназначенный для включения, проведения и отключения токов при нормальных условиях работы, а также разъединения контактов в случае, когда дифференциальный ток достигает заданного значения в определенных условиях.

По ГОСТ Р 50030.1-92 [40] функция разъединения есть действие, направленное на отключение питания всей установки или ее отдельной части путем отделения этой установки или части ее от любого источника электрической энергии по соображениям безопасности.

Конструкция УЗО обеспечивает выполнение функции разъединения.

Воздушные зазоры и расстояния утечки УЗО должны отвечать требованиям стандартов — ГОСТ Р 51326.1-99 [30] (табл. 3), ГОСТ Р 51327.1-99 [31] (табл. 5). Соответственно автоматические выключатели выполняют функцию разъединения — ГОСТ Р 50345-99 [39] (табл. 3).

Допустимые воздушные зазоры и расстояния утечки УЗО приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Допустимые воздушные зазоры и расстояния утечки УЗО

Наименование	Значение, мм, не менее
Воздушные зазоры:	
1) между находящимися под напряжением частями, разъединенными, когда УЗО разомкнуто	3
2) между находящимися под напряжением частями различной полярности	3
3) между находящимися под напряжением частями и:	
— поверхностью, на которой монтируется основание	6
— винтами и другими средствами крепления крышек, которые должны удалиться при монтаже УЗО	6
— прочими доступными металлическими частями	3
Расстояния утечки:	
1) между находящимися под напряжением частями, разъединенными, когда УЗО замкнуто	3
2) между находящимися под напряжением частями различной полярности	4
3) между токоведущими частями и:	
— винтами и другими средствами крепления крышек, которые должны удалиться при монтаже	3
— доступными металлическими частями	3

УЗО должно иметь механизм свободного расцепления, необходимый для того, чтобы подвижные контакты могли находиться в состоянии покоя только в замкнутом или разомкнутом положении, даже когда органы управления находятся в каком-либо промежуточном положении.

Подвижные контакты всех полюсов четырехполюсного УЗО должны быть соединены между собой механически таким образом, чтобы все полюса, за исключением коммутирующего нулевой рабочий, включались и отключались практически одновременно, независимо от того, каким образом осуществляется оперирование — вручную или автоматически.

Контакты полюса, коммутирующего нулевой рабочий проводник, должны замыкаться раньше и отключаться позже контактов других полюсов ($\Delta T = 3 \dots 4$ мс).

4.5. Электроизоляционные свойства

ГОСТ Р 51326.1-99 [30] предъявляет довольно высокие требования к УЗО по уровню электрической изоляции.

Согласно п. 9.7 указанного ГОСТа после нахождения УЗО во влажной камере с относительной влажностью воздуха 91 ... 95% в течение 48 часов сопротивление изоляции его главной цепи должно быть не менее 2 МОм, сопротивление изоляции между металлическим частями механизма и корпусом — не менее 5 МОм. Измерение сопротивления изоляции проводят при напряжении 500 В постоянного тока.

Электрическую прочность изоляции УЗО испытывают прикладывая к его главной цепи в течение одной минуты испытательное напряжение 2 000 В переменного тока 50 Гц. Во время испытания не допускаются перекрытия и пробой.

Изоляция УЗО также должна выдерживать испытания на стойкость изоляции к импульсным перенапряжениям. Испытания включают в себя приложение десяти импульсов тока (1,2/50 мкс) с пиковым напряжением 6 кВ между соединенными вместе фазными полюсами и нейтральным полюсом. Вторую серию испытаний проводят при пиковом напряжении импульсов 8 кВ. Импульсы прикладывают между металлическим основанием, соединенным с выводом, предназначенным для защитного проводника (если таковой имеется), и соединенными вместе фазным полюсом и нейтральным полюсом УЗО. Принято считать, что устройство выдержало испытание, если не произошло непреднамеренного разрушительного разряда.

4.6. Коммутационная и механическая износостойкость

Согласно требованиям стандартов коммутационные аппараты должны быть способны выполнять установленное количество механических и электрических циклов оперирования — переводов подвижных контактов и разомкнутого положения в замкнутое и наоборот.

Коммутационная износостойкость любого электрического коммутационного аппарата в значительной мере зависит от материала и конструкции контактной группы.

В европейских странах электротехнические нормативы регламентируют материалы, допустимые к применению при производстве различных видов электрических аппаратов.

Для изготовления контактов аппаратов определенного назначения применяют различные сплавы серебра, характеризующиеся особыми свойствами. Например, серебряно-графитовые (AgC) сплавы обладают высокой устойчивостью к свариванию контактов в силу реакции графита при горении дуги с атмосферой и выделения газов CO и CN , но при высокой температуре в некоторой степени теряют твердость. По этой причине их применяют, например, при производстве УЗО в паре с серебряно-вольфрамовыми (AgW) контактами, обладающими тугоплавкостью и высокой электро- и теплопроводностью. Серебряно-диоксидоловянные сплавы обеспечивают низкое переходное сопротивление контактной пары при стабильной большой токовой нагрузке и т.д.

Для контактной пары (подвижный — неподвижный контакты) УЗО требуется применять серебряно-графитовый (AgC) сплав против серебряно-вольфрамового (AgW), серебряно-никелевого ($AgNi$) или серебряно-диоксидоловянного ($AgSnO_2$). Для автоматических выключателей применяется пара (AgC) против меди (Cu).

Таблица 4.3

Физические свойства сплавов серебра, применяемых в электротехнике

Материал (сплав)	Плотность, г/см ³	Проводимость, м/(Ом·мм ²)	Твердость по Виккерсу HV, кгс/мм ²
Ag	10,5	60	30 ... 70
$AgNi$ 0,15	10,5	58	45 ... 100
$AgCu$ 3	10,4	52	55 ... 120
$AgCu$ 2Ni	10,4	52	55 ... 100

Таблица 4.4

Физические свойства серебряносодержащих сплавов, применяющихся для изготовления контактов электрических аппаратов

Материал (сплав)	Плотность, г/см ³	Проводимость, м/(Ом·мм ²)	Твердость по Виккерсу HV, кгс/мм ²
$AgNi$ 10	10,3	50	50 ... 100
$AgNi$ 20	10,1	46	60 ... 110
$AgNi$ 40	9,75	37	90 ... 120
$AgCdO$ 10	10,2	48	65 ... 95
$AgCdO$ 15	10,1	42	75 ... 120
$AgCdO$ 10	10,2	48	50 ... 80
$AgCdO$ 12	10,1	47	60 ... 95
$AgSnO_2$ 8	10,0	45 ... 50	60 ... 100
$AgSnO_2$ 12	9,8	40 ... 45	70 ... 110
$AgZnO$ 8	10,2	45	65 ... 100
AgC 3	9,1	46	40
AgC 5	8,6	42	36
AgW 50	13,2 ... 13,6	26 ... 32	120 ... 140
AgW 65	14,5 ... 14,9	22 ... 27	150 ... 180
$AgWC$ 40	11,7 ... 12,1	24 ... 30	130 ... 160
$AgMo$ 50	9,8 ... 10,2	20 ... 24	120 ... 160

Таблица 4.5

Применение различных серебрясодержащих сплавов для изготовления контактов электрических аппаратов различного назначения

Электрические аппараты	Материал контактов
Выключатели бытовых приборов	$AgNi$ 0,15, $AgCu$ 3, $AgNi$ 10 и 20
Выключатели осветительных приборов	$AgCu$ 3, $AgNi$ 10, $AgSnO_2$ 12, $AgCdO$ 10 и 15
Выключатели вторичных цепей	Ag , $AgNi$ 0,15, $AgNi$ 10
Вводные выключатели	$AgNi$ 10, $AgSnO_2$ 12, $AgCdO$ 10 и 15
Выключатели нагрузки	$AgCu$ 3, $AgNi$ 10 и 20, $AgSnO$ 28 и 12, $AgCdO$ 10
Моторные выключатели	$AgNi$ 10, $AgSnO_2$ 12, $AgCdO$ 10 и 15 $AgZnO$ 8, $AgZnO$ 8 в паре с $AgNi$ 10, $AgSnO_2$ 12 AgC 4 в паре с $AgNi$ 10 и 20, $AgSnO_2$ 12
Автоматические выключатели	AgC 3...5 в паре с Cu , $AgCu$ 3, $AgNi$ 10 ... 20
УЗО	AgC 4 и 5 в паре с $AgNi$ 20...40, $AgSnO_2$ 12, AgW 50
Силовые выключатели	$AgCdO$ 10...15, $AgZnO$ 8, $AgSnO_2$ 12 AgC 3...5 в паре с $AgNi$ 10...40, AgW 50, $AgWC$ 50 AgC 2...5 в паре с $AgNi$ 20...40

Таким образом, конструкция и материал контактов УЗО жестко регламентированы — это четко определенные сплавы на основе серебра. Поэтому вызывает по крайней мере недоумение информация, приводимая в рекламных проспектах некоторых фирм, где как достоинство указывается, что в устройстве применены «посеребрённые контакты».

Механическая износостойкость УЗО есть способность устройства выполнять заданное число операций без протекания по главной цепи электрического тока.

Коммутационная износостойкость УЗО есть способность устройства выполнять заданное число операций при протекании по главной цепи номинального тока при номинальном напряжении.

Согласно стандартам УЗО при испытаниях должно выдерживать не менее:

— 2 000 циклов электрического оперирования при номинальном напряжении и номинальной токовой нагрузке;

— 2 000 циклов механического оперирования без нагрузки.

Операции размыкания должны проводиться в следующем порядке: для первой тысячи циклов с использованием ручных средств; для следующих пятисот циклов с использованием контрольного устройства; для последних пятисот циклов путем пропуска через один полюс отключающего дифференциального тока.

После испытаний УЗО не должно иметь чрезмерного износа, повреждений оболочки, дающих возможность проникновения стандартного испытательного пальца к частям, находящимся под напряжением, ослабления электрических и механических соединений. Стандарт требует проведения после данного испытания УЗО проверки электрической прочности изоляции без предварительной влажной обработки.

4.7. Контрольное устройство

Конструкция УЗО в обязательном порядке предусматривает наличие контрольного устройства — устройства эксплуатационного контроля, запускаемого кнопкой «ТЕСТ». Назначением контрольного устройства является выполнение периодического контроля работоспособности УЗО в целом.

Контрольное устройство представляет собой цепь из тестового резистора определенного номинала, замыкающего контакта, управляемого кнопкой «ТЕСТ», и вспомогательного контакта, механически заблокированного с группой силовых

контактов УЗО. Вспомогательный контакт обеспечивает отключение в целях электробезопасности тестовой цепи от силовой в отключенном положении УЗО.

При нажатии кнопки «ТЕСТ» по тестовой цепи протекает контрольный ток заданного значения, являющийся для УЗО дифференциальным, который должен вызвать срабатывание УЗО.

Дифференциальный ток, создаваемый контрольным устройством, согласно ГОСТ Р 51326.1-99, ГОСТ Р 51327.1-99 [30, 31] не должен превышать 2,5-кратного значения номинального отключающего дифференциального тока УЗО. Контрольное устройство должно надежно функционировать при отклонении напряжения в диапазоне от 0,85 до 1,1 номинального значения.

4.8. Схемы подключения УЗО

Конструкции УЗО различных производителей могут отличаться друг от друга не только параметрами, но и схемами подключения контрольного устройства.

На рис. 4.1 приведены различные схемы включения УЗО с учетом внутренней схемы подключения контрольного устройства к внешним клеммам. Показано также правильное включение УЗО в одно-, двух- и трехфазном вариантах.

В неполнофазных вариантах необходимо подключать УЗО таким образом, чтобы была обеспечена цепь контрольного устройства. Схема внутреннего подключения тестового резистора должна быть обязательно приведена на лицевой или боковой поверхности корпуса УЗО.

4.9. Устойчивость УЗО к импульсным напряжениям

УЗО должны быть устойчивыми к возникающим в электроустановках импульсам коммутационных и атмосферных пере-

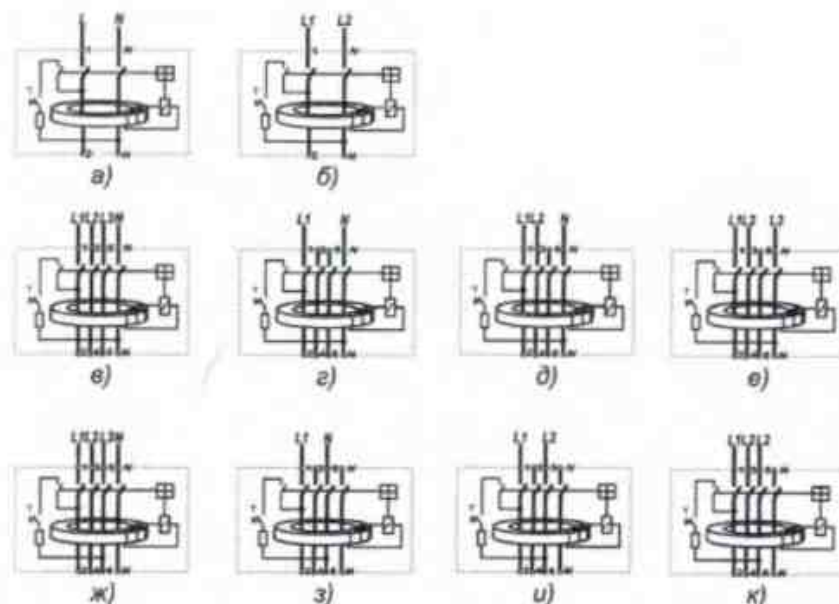


Рис. 4.1. Схемы включения УЗО

а, б — двухполюсные УЗО; в, г, д, з — четырехполюсные УЗО (тестовый резистор подключается на фазное напряжение); е, ж, и, к — четырехполюсные УЗО (тестовый резистор подключается на линейное напряжение)

напряжений. Проверку устойчивости УЗО к нежелательным срабатываниям от импульсов напряжения для УЗО проводят с помощью генератора импульсов «звонящей волны» согласно ГОСТ Р 51326.1-99, ГОСТ Р 51327.1-99 [30, 31].

Проверку проводят следующим образом. К одному из полюсов УЗО прикладывают 10 импульсов тока, полярность волны должна меняться после каждых двух импульсов. Интервал между двумя последовательными импульсами 0,5 мкс/100 кГц, 200 А должен составлять 30 секунд. УЗО типа S испытывают импульсным током 8/20 мкс с пиковым значением 3 000 А. Во время испытаний УЗО не должно срабатывать.

4.10. Требования пожарной безопасности

Конструкция УЗО должна обеспечивать его пожарную безопасность и работоспособность как в нормальном режиме работы, так и при возникновении возможных неисправностей и нарушении правил эксплуатации.

Нормы государственной противопожарной службы МВД (в настоящее время МЧС) России — НПБ-243-97 [41] устанавливают требования к УЗО при конструировании, монтаже и сертификации с целью обеспечения пожарной безопасности электроустановок вновь строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданий независимо от формы собственности и ведомственной принадлежности.

Согласно НПБ-243-97 функциональные характеристики УЗО должны соответствовать требованиям, изложенным в ГОСТ Р 50807-95 [29].

НПБ-243-97 (п.4.2) предъявляет следующие требования к электроизоляционным и конструкционным пластическим материалам, применяемым для изготовления УЗО.

Материалы, из которых изготовлены наружные части УЗО (кроме декоративных элементов), а также используемые в конструкции электрических соединений для поддержки токоведущих частей в определенном положении, должны выдерживать испытание давлением шарика.

Материалы, из которых изготовлены части УЗО, должны быть стойкими к воздействию пламени горелки.

Изоляционные материалы, поддерживающие конструкции винтовых контактных соединений, должны быть стойкими к воздействию тепловой энергии, выделяемой в переходном сопротивлении дефектного контактного соединения, а также стойкими к воздействию нагретой проволоки (960°C).

Материалы, через которые возможно образование проводящего мостика между частями различной полярности и разного потенциала, должны быть трекингостойкими. Конструкция

УЗО должна исключать появление в процессе эксплуатации и испытаний на пожарную опасность пламени, дыма, размягчения и оплавления конструкционных материалов.

П. 4.3 НПБ-243-97 гласит:

«Конструкция УЗО должна обеспечивать его пожарную безопасность и работоспособность как в нормальном режиме работы, так и при возникновении возможных неисправностей и нарушений правил эксплуатации. При этом вероятность возникновения пожара в (от) УЗО не должна превышать 10^{-6} в год».

Приказом ГУГПС МВД России от 17.11.98 № 73 УЗО включены в перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации в области пожарной безопасности по НПБ 243-97, и должны пройти сертификационные испытания во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны России (ВНИИПО).

С 01.01.99 применение УЗО без сертификата пожарной безопасности запрещено.

В качестве дополнения к данному разделу ниже приведены некоторые сведения из разработанных ВНИИПО норм НПБ 179-99 [42]. Эти нормы распространяются на УЗО, устанавливаемые на пожарные машины, автомобильные прицепы, переносные электросиловые установки и предназначенные для автоматического и селективного отключения этих электросиловых установок при однофазном (однополюсном) прикосновении к ним человека.

Нормы определяют основные параметры, общие технические требования и методы испытаний УЗО, применяемых в электросиловых установках специального назначения, вырабатывающих одно- и трехфазный ток, с номинальным током не более 125 А, частотой 50; 200 и 400 Гц и номинальным напряжением не более 400 В.

В силу специфики применения устройств данные нормы предъявляют к ним более жесткие технические требования.

НПБ 179-99 [42]:

п. 7.5. Степень защиты от прикосновения к токоведущим частям УЗО и проникновения воды — IP 44 по ГОСТ 14254.

п. 8.2. (табл. 1). Время срабатывания и ток срабатывания УЗО при частотах переменного тока 50; 200; 400 Гц приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Время срабатывания и ток срабатывания УЗО при различных частотах переменного тока

Параметры	Частота тока, Гц		
	50	200	400
Номинальный отключающий дифференциальный ток, А, не более	0,050	0,015	0,015
Время срабатывания, с, не более	0,05	0,05	0,05

п. 8.3. УЗО должны сохранять работоспособность при отключении потребителя от сети.

п. 8.4. УЗО должны сохранять работоспособность при воздействии вибрационной нагрузки частотой 30 Гц, ускорением $(19,6 \pm 0,2)$ м/с² в течение $(0,5 \pm 0,1)$ ч.

п. 8.5. УЗО должны сохранять работоспособность при колебаниях напряжения сети в пределах от 0,85 до 1,1 его номинального значения и изменениях частоты тока $(50,0 \pm 2,5)$; (200 ± 10) ; (400 ± 20) Гц и температуре от минус (40 ± 5) до плюс (40 ± 5) °С.

4.11. Маркировка и дополнительная информация

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 предназначено для частоты, отличной от 50 и (или) 60 Гц.

5. Номинальный ток I_n .

Для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков — номинальный ток в амперах без указания единицы измерения с предшествующим обозначением типа мгновенного расщепления (B, C или D). Например, «B25»: тип мгновенного расщепления — B, номинальный ток — 25 А.

6. Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$.

7. Номинальная включающая и отключающая способность I_m .

Для УЗО с защитой от сверхтоков — номинальная наибольшая коммутационная способность I_{cn} .

8. Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta m}$, если она отличается от номинальной включающей и отключающей способности УЗО.

9. Номинальный условный ток КЗ I_{sc} .

10. Степень защиты (только в случае ее отличия от IP20).

11. Символ [S] для устройств типа S, [G] для устройств типа G.

12. Указание, что УЗО функционально зависит от напряжения сети, если это имеет место (обычно в виде схемы).

13. Обозначение органа управления контрольным устройством — кнопки «Тест» — буквой «Т».

14. Схема подключения.

15. Рабочая характеристика:

тип AC — символ 

тип A — символ 

тип B — символы 

Маркировка по пп. 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 15 должна быть расположена так, чтобы быть видимой после монтажа УЗО.

Информация об устройстве по пп. 1, 7, 14 может быть нанесена на боковой или задней поверхности устройства, видимых только до установки изделия.

Информация об устройстве по пп. 4, 10, 12 должна быть приведена в эксплуатационной документации.

Изготовитель обязан сообщать в техническом паспорте на устройство допустимые значения интеграла Джоуля — I^2t и пикового тока I . Минимальные значения указанных величин, определяемые ГОСТ Р 51326.1 [30] (табл. 15) приведены в табл. 2.2 данного издания.

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

Отключенное положение УЗО должно обозначаться символом «O» (окружностью), включенное положение — символом «I» (короткой вертикальной чертой).

Стандартные значения температуры окружающей среды от -5 до $+40^\circ\text{C}$ могут не указываться. Диапазон температур от -25 до $+40^\circ\text{C}$ обозначается символом I^{S} .

В последние годы в целях автоматизации учета, движения, складирования товара широко применяется маркировка штрих-кодами. Штрих-код стандартизирован и выдается предприятиям — членам Ассоциации ЮНИСКАН/EAN РОССИЯ. В соответствии с государственным стандартом ГОСТ ISO/МЭК 15420-2001 (стр. III) [43] управление системой нумерации, осуществляемое EAN и UCC, обеспечивает международную уникальность и согласованность в определении идентификационных кодов, присваиваемых конкретным предметам. В Российской Федерации эти коды присваиваются Ассоциацией ЮНИСКАН/EAN Россия. Каждому предприятию присвоен международный номер и выдано соответствующее свидетельство. Предприятие — член Ассоциации получает уникальные штриховые коды на свою продукцию, позволяющие идентифицировать изделия. Наличие штрих-кода на изделии — показатель качества и гарантия исключения фальсификации. На рис. 4.2 пример этикетки со штрих-кодом.



ИЗГОТОВИТЕЛЬ
ЗАО "АСТРО.УЗО" – МЭИ
www.uzo.ru
11116 Москва
Энергетический проезд, д. 8
Тел./факс: (495) 362-7931

Рис. 4.2. Пример этикетки со штрих-кодом (изделие Ф-2211)

4.12. Документация на УЗО

Комплект технической документации на УЗО должен включать в себя:

1. Сертификат на соответствие ГОСТ Р 50807-95 (с 2002 г. необходим сертификат на соответствие ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99).

В соответствии с Правилами по проведению сертификации в Российской Федерации, утвержденными постановлением Госстандарта России от 10 мая 2000 г. № 26 и зарегистрированными в Министерстве юстиции России 27 июня 2000 г., регистрационный № 2284, Система сертификации электрооборудования (ССЭ), действующая в рамках системы сертификации ГОСТ Р, предусматривает обязательную сертификацию УЗО — код позиции по ОК 005-93 (ОКП) — 342100.

2. Сертификат на соответствие Нормам государственной противопожарной службы МВД России НПБ 243-97.

В соответствии со ст. 33 Федерального закона «О пожарной безопасности» и в целях реализации постановления Правительства РФ «Об утверждении перечня товаров, подлежащих обязательной сертификации и перечня работ и услуг, под-

лежащих обязательной сертификации» от 13 августа 1997 г. № 1013 УЗО включено в Перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации в области пожарной безопасности в Российской Федерации под № 4.5.

3. Паспорт (руководство по эксплуатации) на УЗО с адресом и телефонами предприятия-изготовителя, штампом ОТК, датой изготовления, отметкой о продаже, указанием гарантийного срока.

Заводская сопроводительная техническая документация (технический паспорт или руководство по эксплуатации) и маркировка УЗО должны содержать следующие сведения о технических параметрах устройств:

- способ и место установки;
- число полюсов;
- номинальное напряжение U_n ;
- номинальный ток I_n ;
- номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) $I_{\Delta n}$;
- номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta no}$;
- номинальное время отключения T_n ;
- номинальный условный ток КЗ I_{nc} ;
- предельное значение сверхтока неотключения I_{sm} ;
- номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_n ;
- номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta n}$;
- номинальный условный дифференциальный ток КЗ $I_{\Delta c}$;
- рекомендуемые схемы включения УЗО в электроустановках зданий.

Органы энергетического надзора при рассмотрении проекта электроустановки обращают особое внимание на типы УЗО, заложенные проектом, и в случае несоответствия возвращают проектную документацию на переработку.

При приеме электроустановки инспектор Энергонadzора обязан убедиться, что действительно установлены УЗО, предусмотренные проектом, и что на эти УЗО имеется вся необходимая техническая документация.

В противном случае электроустановка здания не принимается в эксплуатацию до установки УЗО, имеющих соответствующие вышеперечисленные сопроводительные документы.

Государственные стандарты ГОСТ Р 51326.1-99, ГОСТ Р 51327.1-99 устанавливают минимальный гарантийный срок работы УЗО — пять лет.

Изготовитель обязан в течение этого срока при соблюдении условий эксплуатации гарантировать надежную и безотказную работу УЗО.

4.13. Дополнительные устройства и принадлежности

4.13.1. Вспомогательные контакты

Фирмы-производители УЗО и автоматических выключателей выпускают в качестве аксессуаров для своих устройств модули вспомогательных контактов (блок-контакты). Эти контакты предназначены для переключения цепей автоматики и сигнализации — например, для включения сигнального устройства, оповещающего персонал или потребителя об отключении определенной цепи (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Вспомогательные контакты

Модуль вспомогательных контактов крепится к основному устройству с боковой стороны и механически блокируется с его спусковым устройством.

Как правило, модуль имеет 1-2 пары замыкающих или размыкающих контактов, позволяющих коммутировать ток до 6 А при напряжении до 220 В.

4.13.2. Дистанционный привод

Дистанционный привод предназначен для дистанционного управления УЗО — включения и отключения. Привод снабжен программным устройством, позволяющим задавать необходимые циклы управления УЗО — включения/отключения.

Привод крепится с боковой стороны УЗО и сопрягается с рукояткой взвода УЗО посредством грифа специальной формы (рис. 4.4).

Для ускорения и упрощения монтажа коммутационных устройств — УЗО, автоматических выключателей и др. в распределительных щитах в последнее время в мировой практике широко применяются специальные монтажные шины — часто называемые «гребенками» (рис. 4.5).

Соединительные шины представляют собой стандартные медные монтажные рейки в форме гребенки, в пластмассовом кожухе, различной длины и конфигурации, расстояние между зубцами соответствует стандартным расстояниям между клеммами смонтированных в ряд согласно европейским стандартам коммутационных приборов (модуль 17,5 мм). Выпускаются модификации двух-, трех- и четырехполюсных соединительных шин сечением 10 и 16 мм².

4.14. Специальные типы УЗО

Номинальный ток серийно выпускаемых УЗО, как правило, не превышает 125 А. Мощные электроустановки могут иметь



Рис. 4.4. УЗО с дистанционным приводом



Рис. 4.5. УЗО и автоматические выключатели, соединенные монтажной шиной

гораздо большие номинальные токи нагрузки и, соответственно, довольно значительные сечения питающих проводников (кабелей).

Для осуществления защиты от токов утечки на землю в таких электроустановках необходимо применять специальные УЗО — с выносным дифференциальным трансформатором тока.

Питающий кабель пропускается через окно трансформатора тока, сигнал с которого поступает на дифференциальное реле, управляющее силовым контактором соответствующей нагрузке мощности.

ЗАО «АСТРО-УЗО» — МЭИ выпускает УЗО на большие токи нагрузки в комплекте: выносной дифференциальный трансформатор и дифференциальное реле. Технические параметры его приведены в табл. 4.4, габаритные и установочные размеры и внешний вид на рис. 4.6...4.8.

Продолжение табл. 4.4

№	Наименование	Номинальное значение
7	Диапазон рабочих температур, °С	- 25 ... + 40
8	Максимальное сечение подключаемых проводников к дифференциальному реле, мм ²	25
9	Срок службы: — электрических циклов, не менее — механических циклов, не менее	10 000 10 000

* — в зависимости от модификации.

Таблица 4.4

Технические параметры УЗО на большие токи нагрузки

№	Наименование	Номинальное значение
1	Номинальное напряжение U_n , В	220/380
2	Номинальный ток нагрузки дифференциального реле I_n , А	25
3	Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, мА	300, 500*
4	Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$	$0,5 I_{\Delta n}$
5	Время отключения при номинальном дифференциальном токе (без учета времени срабатывания контактора) T_n , не более, мс	30
6	Диаметр окна выносного дифференциального трансформатора, мм	60

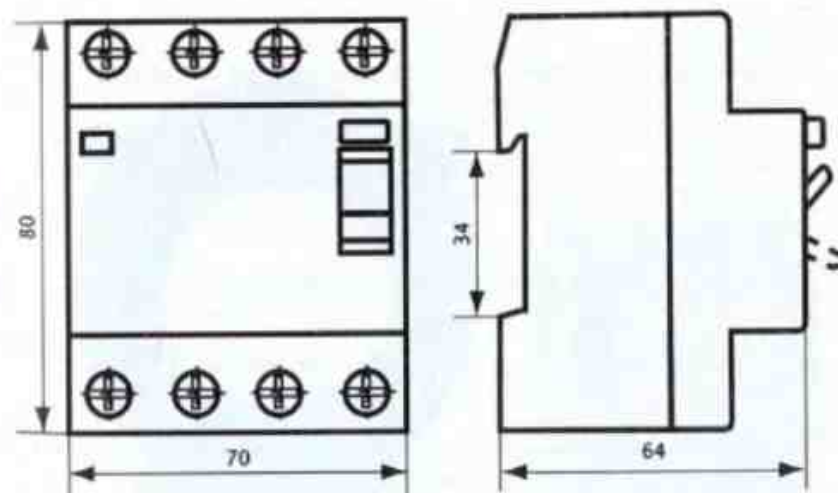


Рис. 4.6. Габаритные и установочные размеры дифференциального реле

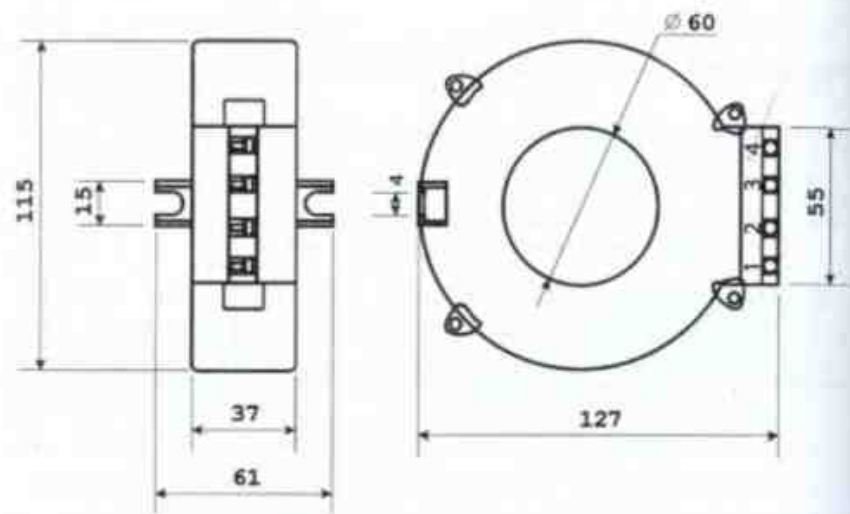


Рис. 4.7. Габаритные и установочные размеры выносного дифференциального трансформатора

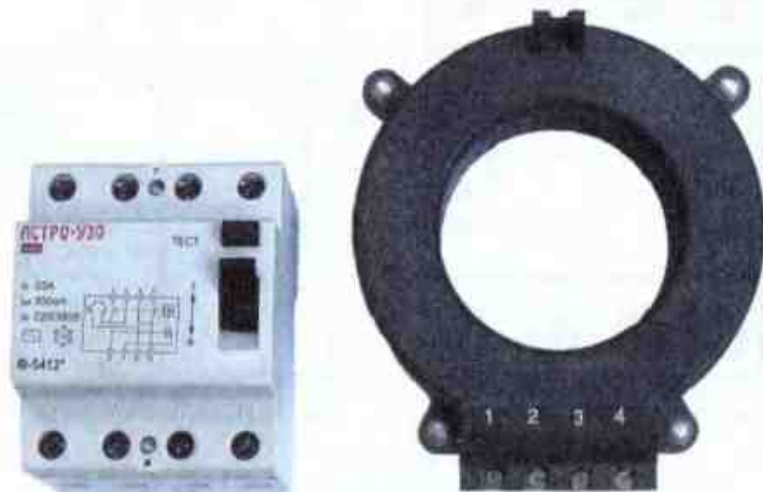


Рис. 4.8. Внешний вид дифференциального реле и выносного дифференциального трансформатора

АСТРО*УЗО на большие токи применяются в одно- и трехфазных сетях. На рис. 4.9 приведен пример схемы подключения такого УЗО в трехфазной сети в комплекте с четырехполюсным контактором.

Большое значение имеет правильный выбор силового контактора как элемента защиты, обеспечивающего отключение нагрузки.

Характеристики контакторов должны быть согласованы с параметрами электроустановки (см. гл. 5).

Важной характеристикой контакторов является допустимая номинальная мощность нагрузки (или номинальный рабочий ток), определяемая категорией электроприемника.

Ниже приводятся нормальные режимы применения низковольтной аппаратуры распределения и управления переменного тока по ГОСТ Р 50030.1-2000 [44] — табл. 4.5.

Таблица 4.5

Режимы применения низковольтной аппаратуры

Режим (категория)	Типичные области применения
AC-1	Неиндуктивные или слабо индуктивные нагрузки, печи сопротивления
AC-2	Электродвигатель с фазным ротором: пуск, отключение
AC-3	Электродвигатель с короткозамкнутым ротором: пуск, отключение
AC-4	Электродвигатель с короткозамкнутым ротором: пуск, торможение противовключением, толчковый режим
AC-5a	Управление разрядными электролампами
AC-5b	Управление лампами накаливания
AC-6a	Управление трансформаторами

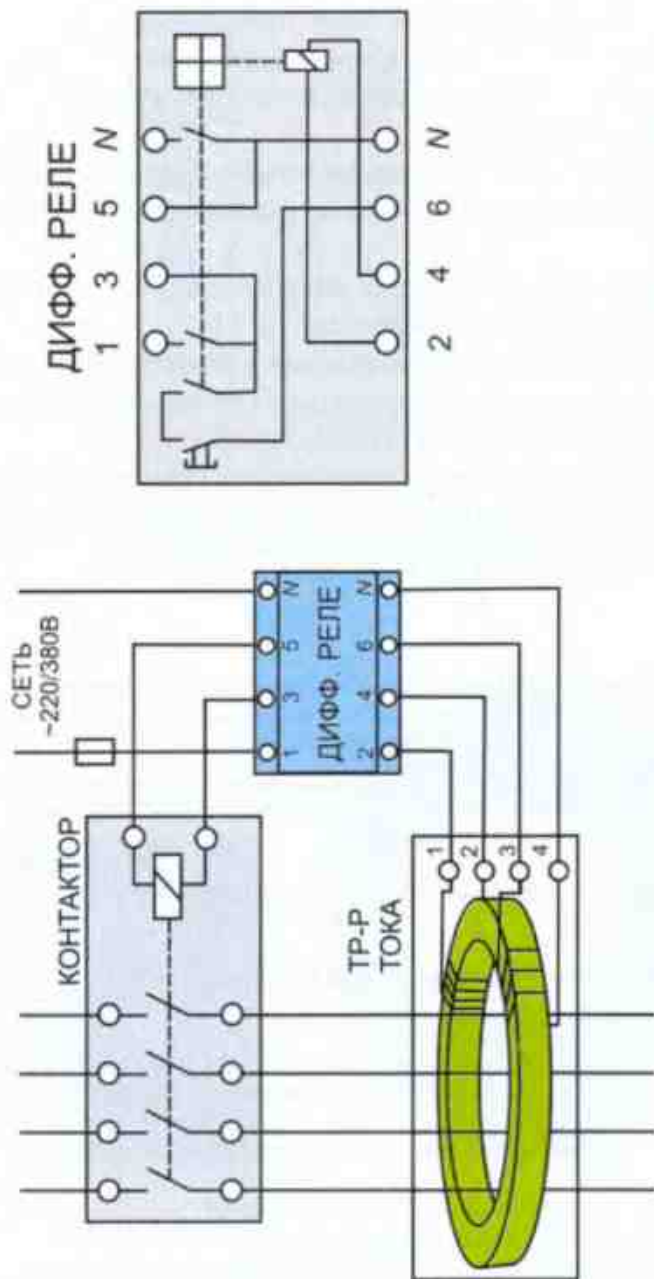


Рис. 4.9. Схема управления четырехполюсным контактором

Режимы применения низковольтной аппаратуры

Режим (категория)	Типичные области применения
АС-6b	Управление батареями конденсаторов
АС-7a	Слабо индуктивные нагрузки в бытовых и аналогичных секторах
АС-7b	Двигатели в бытовом секторе
АС-8a	Управление двигателями герметичных компрессоров холодильников с ручным взводом расцепителей перегрузки
АС-8b	Управление двигателями герметичных компрессоров холодильников с автоматическим взводом расцепителей перегрузки
АС-12	Управление омическими и статическими изолированными нагрузками посредством оптронов
АС-13	Управление статическими изолированными нагрузками посредством трансформаторов
АС-14	Управление слабыми электромагнитными нагрузками
АС-15	Управление электромагнитными нагрузками
АС-20	Соединение и разъединение при нулевой нагрузке
АС-21	Управление омическими нагрузками, в том числе при умеренных перегрузках
АС-22	Управление смешанными омическими и индуктивными нагрузками, в том числе при умеренных перегрузках
АС-23	Управление двигателями и другими сильно индуктивными нагрузками

5. КООРДИНАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

5.1. Защита электроустановки

Электроустановка должна быть защищена одним или несколькими устройствами автоматического отключения в случае появления сверхтоков (перегрузки, короткие замыкания) или недопустимых токов утечки.

Устройства защиты должны выбираться с учетом параметров электроустановки, ожидаемых токов КЗ, характеристик нагрузки, условий прокладки и тепловых характеристик проводников.

Нормами МЭК 364-5-53 [45], положенными в основу ГОСТ Р 50571.ХХ, находящегося на стадии утверждения, определены требования к выбору аппаратов защиты от сверхтоков и УЗО.

Кривая времятоковой характеристики, соответствующая допустимой тепловой нагрузке защищаемой электропроводки, должна лежать выше зоны времятоковой характеристики устройства защиты для всех возможных токов КЗ между минимальным и максимальным значениями.

Для времени срабатывания аппарата не более 0,1 секунды кривая допустимых значений I^2t (интеграла Джоуля) электропроводки должна лежать выше кривой I^2t защитного устройства, т.к. кривая характеристики I^2t устройства защиты характеризует максимальные рабочие значения I^2t как функцию ожидаемого тока КЗ при установленных условиях эксплуатации.

Время отключения полного тока КЗ в любой точке цепи не должно превышать времени, в течение которого температура проводников достигает допустимого предела.

Для короткого замыкания не более 5 секунд время t , в течение которого превышение температуры проводников от наибольшего значения допустимой температуры в нормальном режиме до предельно допустимой температуры в режиме КЗ, может быть приблизительно вычислено по формуле:

$$\sqrt{t} = K \frac{S}{I},$$

где t — продолжительность, с;

S — сечение проводника, мм²;

I — действующее значение тока КЗ, А;

$K = 115$ — для медных проводников с поливинилхлоридной изоляцией;

$K = 135$ — для медных проводников с резиновой изоляцией (в т.ч. с изоляцией из бутиловой резины и этиленпропиленовой резины), с изоляцией из сшитого полиэтилена;

$K = 74$ — для алюминиевых проводников с поливинилхлоридной изоляцией;

$K = 87$ — для алюминиевых проводников с резиновой изоляцией (в т.ч. с изоляцией из бутиловой резины и этиленпропиленовой резины), с изоляцией из сшитого полиэтилена;

$K = 115$ — для соединений медных проводников, выполняемых пайкой, что соответствует температуре 160°C.

Значения предельно допустимых температур нагрева проводников при КЗ приведены в ПУЭ.

Вышеуказанная формула может быть представлена в виде:

$$I^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2.$$

Значение I^2t должно указываться предприятиями-изготовителями как технический параметр изделия.

На практике проверка вышеуказанных условий требует только расчета максимальных и минимальных ожидаемых токов КЗ.

Рассмотренный принцип выбора защиты от КЗ проиллюстрирован рис. 5.1-5.4.

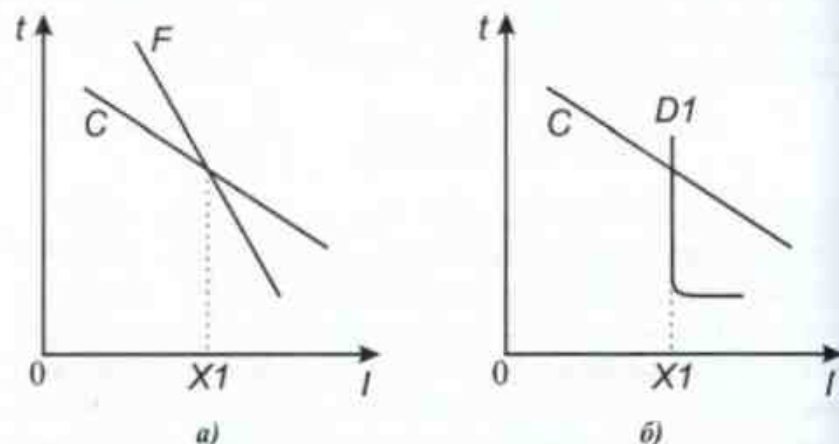


Рис. 5.1. Времятоковые характеристики устройств защиты и электропроводки (а — для плавких предохранителей; б — для автоматических выключателей)

С — кривая времятоковой характеристики, соответствующая допустимой тепловой нагрузке защищаемой электропроводки; D1 — кривая срабатывания автоматического выключателя; F — кривая срабатывания плавкого предохранителя (верхний предел зоны срабатывания); X1 — минимальный ток КЗ, при котором обеспечивается защита устройством защиты от тока КЗ

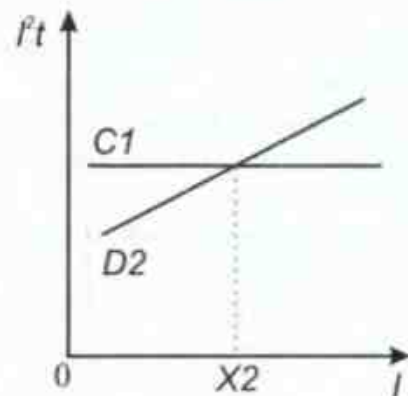


Рис. 5.2. Характеристики автоматического выключателя и электропроводки

C1 — кривая характеристики допустимого I^2t защищаемого проводника; D2 — I^2t — характеристика автоматического выключателя; X2 — максимальный ток КЗ, при котором обеспечивается защита автоматическим выключателем

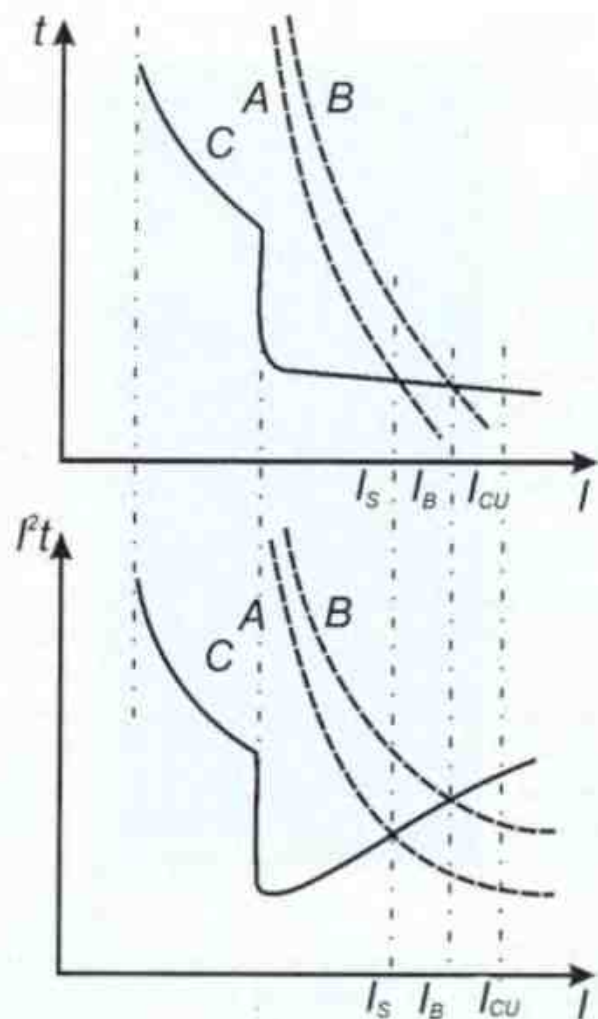


Рис. 5.3. Характеристики плавкого предохранителя и автоматического выключателя

I — ожидаемый ток короткого замыкания; I_s — предельный ток селективности; I_B — ток координации; I_{cu} — номинальная предельная наибольшая отключающая способность автоматического выключателя; A — преддуговая характеристика плавкого предохранителя; B — рабочая характеристика плавкого предохранителя; C — рабочая характеристика автоматического выключателя

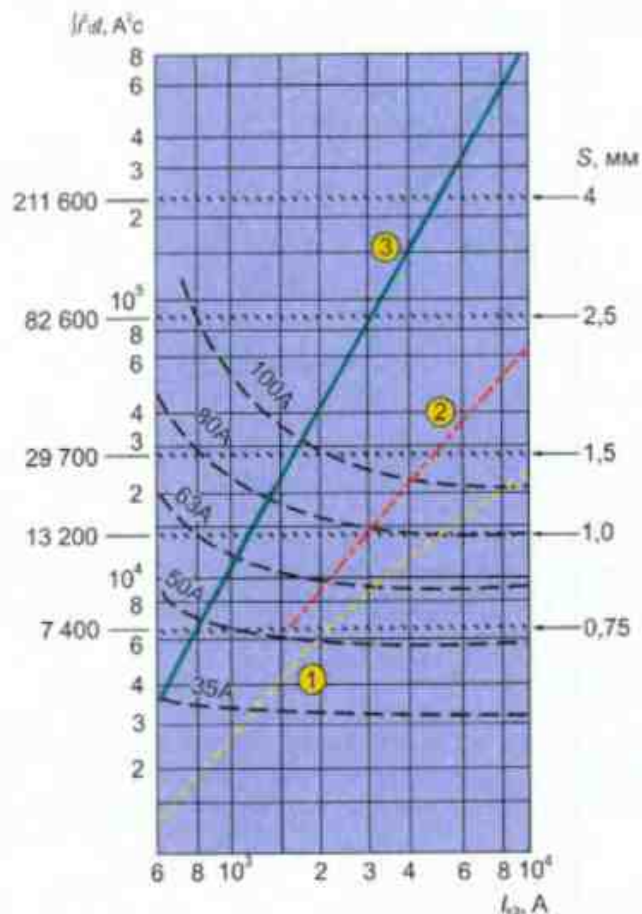


Рис. 5.4. Зоны защиты плавких предохранителей и автоматических выключателей для различных значений тока КЗ

- 1) Характеристика автоматического выключателя с токоограничивающими свойствами 16 А;
 - 2) Предельные значения интеграла Джоуля для автоматических выключателей с токоограничивающими свойствами;
 - 3) Полуводна тока КЗ;
- характеристики плавких предохранителей;
 предельные значения интеграла Джоуля для медного проводника в ПВХ изоляции различных сечений

5.2. Выбор автоматических выключателей и предохранителей

В данном разделе приведены сведения из стандарта ГОСТ Р 50030.2-94 [46], определяющие принципы координации автоматических выключателей с автономными плавкими предохранителями, включенными в одну цепь.

При правильно рассчитанной системе координации отключающих устройств предполагается, что при любых значениях сверхтока вплоть до номинальной предельной наибольшей отключающей способности (I_{cw}) отключение производит только автоматический выключатель.

На практике действительны такие соображения:

- если значение ожидаемого аварийного тока в данной точке системы ниже I_{cw} , можно предположить, что включение в цепь одного или нескольких плавких предохранителей обусловлено требованиями, не связанными с резервной защитой;
- если значение тока координации I_B (предельное значение тока, выше которого при последовательном соединении двух аппаратов защиты от сверхтоков один защитный аппарат обеспечивает резервную защиту второго) слишком мало, возникает опасность потери селективности;
- если значение ожидаемого аварийного тока в данной точке системы выше I_{cw} , следует так подобрать один или несколько плавких предохранителей, чтобы обеспечить $I_B \leq I_{cw}$.

Определение тока координации и соответствие требованиям $I_B \leq I_{cw}$ следует проверять путем сопоставления рабочих характеристик автоматического выключателя и плавкого предохранителя.

Пригодность комбинации можно оценить, рассмотрев рабочую характеристику $I^2 t$ плавкого предохранителя в диапазоне от I_{cw} до ожидаемого тока КЗ в предполагаемой области при-

менения, но не выше наибольшей отключающей способности комбинации. Это значение не должно превышать I_t автоматического выключателя при его номинальной наибольшей отключающей способности (рис. 5.3).

Примечание: A считают нижним пределом, B и C рассматривают как верхние пределы.

5.3. Расчет максимального и минимального ожидаемого тока КЗ

Максимальный ожидаемый ток КЗ— это ток на линейных зажимах устройства защиты от КЗ, который может быть рассчитан, когда известны параметры сети питания и параметры электроустановки со стороны питания до места установки устройства защиты.

Минимальный ожидаемый ток КЗ— это ток, соответствующий КЗ в самой отдаленной точке защищаемой цепи, при КЗ между фазой и нейтралью или, если нейтраль не распределена, между фазами. В случае питания установки от нескольких источников рассматривается только один источник, имеющий максимальное полное внутреннее сопротивление.

При отсутствии достаточно определенной информации для расчета минимальных токов КЗ могут быть сделаны следующие упрощающие допущения:

— принимается, что сопротивление электропроводки увеличено на 50% по отношению к его значению при 20°C из-за нагрева проводников током КЗ;

— если полное сопротивление цепи со стороны источника питания неизвестно, то принимается, что напряжение источника питания снижено до 80 % номинального напряжения.

Расчет минимального тока КЗ производится по следующим формулам. Для трехфазных цепей с нераспределенной нейтралью (КЗ между фазами):

$$I = \frac{0,8U}{1,5 \cdot \rho \cdot 2 \cdot L / S},$$

где I — ожидаемый ток КЗ, А;

U — линейное напряжение источника питания, В;

ρ — электрическое удельное сопротивление жилы кабеля, Ом·мм²/м, при 20°C;

L — длина защищаемой проводки, м;

S — площадь поперечного сечения жилы кабеля, мм².

Для трехфазных цепей с распределенной нейтралью с уменьшенным или не уменьшенным поперечным сечением (КЗ между фазой и нейтралью):

$$I = \frac{0,8U_0}{1,5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L / S},$$

где U_0 — номинальное напряжение источника питания между фазой и нейтралью, В;

m — отношение между сопротивлением нейтрального проводника и сопротивлением фазного проводника (или отношение между площадью поперечного сечения фазного проводника и площадью поперечного сечения нейтрального проводника, если они сделаны из одного и того же материала— меди или алюминия).

Примечание: ρ принимается 0,018 для меди и 0,027 для алюминия; для проводников с площадью поперечного сечения выше 95 мм² должно учитываться реактивное сопротивление; коэффициент 1,5 учитывает увеличение сопротивления проводников вследствие превышения температуры.

Расчетные токи КЗ используют для определения требуемой отключающей способности устройства защиты при КЗ.

По минимальному току КЗ выбирают ток мгновенного отключения автоматического выключателя, который должен быть не менее расчетного минимального тока КЗ.

Рабочие условия могут, однако, потребовать выбора устройства защиты по наибольшей отключающей способности при КЗ, например, если устройство располагается на главном вводе электроустановки.

На кафедре «Электрические станции» (<http://es.mpei.ac.ru>) МЭИ под руководством зав. каф. Ю.П. Гусева разработаны компьютерные программы для расчета токов КЗ в электроустановках переменного тока напряжением до и более 1 кВ, в системах оперативного постоянного тока, переходных процессов в узлах нагрузки с асинхронными двигателями и другие программы для проектирования и эксплуатации различных электроустановок.

Программы используются ведущими проектными институтами России, СНГ и Прибалтики и во многих энергосистемах.

«GUEXPRT». Расчет токов КЗ в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ в соответствии с ГОСТ 28249-93 и ГОСТ 28895-91 (МЭК 949-88) [47, 48].

Вычисляются токи, напряжения, температуры кабелей, при симметричных и несимметричных металлических и дуговых КЗ с учетом подпитки от асинхронных двигателей (рис. 5.5).

«GUSELECT». Построение карт селективности защитных аппаратов сетей переменного тока напряжением 0,4 кВ. В единой системе координат строятся времятоковые характеристики зависимых расцепителей автоматических выключателей, пусковые токи асинхронных двигателей и предельные характеристики термической стойкости и невозгораемости кабелей (рис. 5.6).

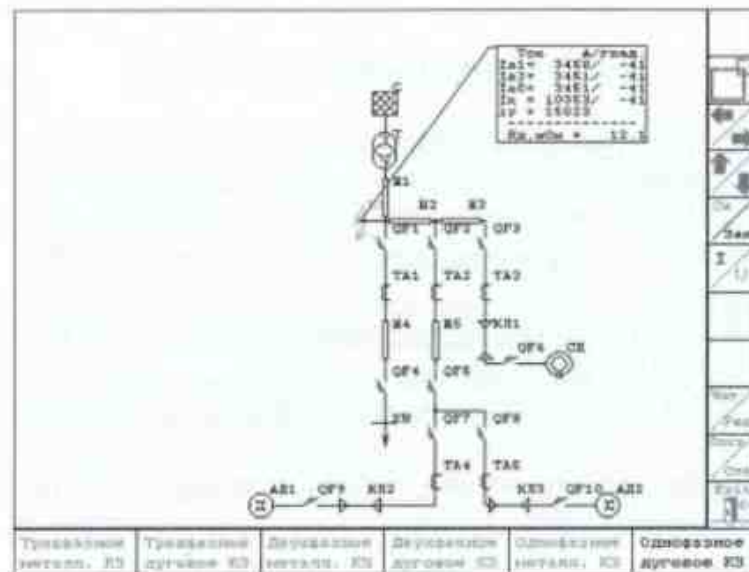


Рис. 5.5. Пример расчетной схемы из программы «GUEXPRT»

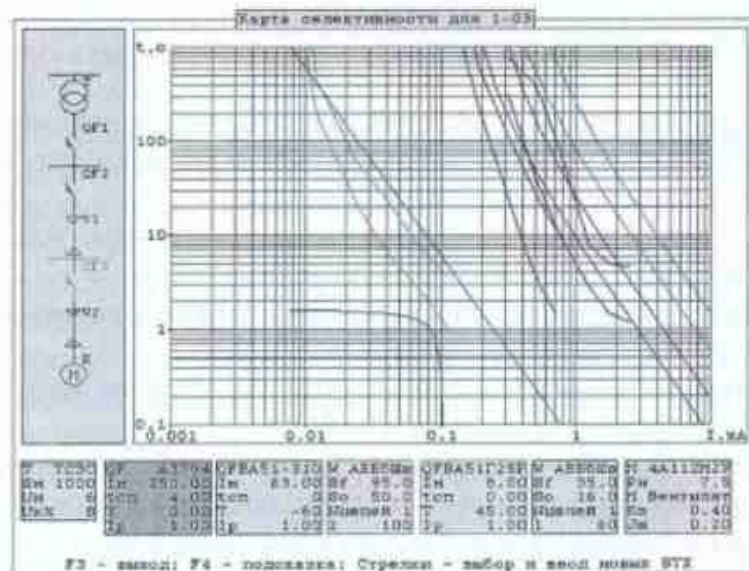


Рис. 5.6. Пример расчета из программы «GUSELECT»

5.4. Защита от токов перегрузки

Устройства защиты должны отключать любой ток перегрузки, протекающий по проводникам, раньше, чем такой ток мог бы вызывать повышение температуры проводников, опасное для изоляции, соединений, зажимов или среды, окружающей проводники.

ГОСТ Р 50571.5-94 [49] предъявляет следующие требования к защитным устройствам.

п. 433.2. Согласованность проводников и защитных устройств.

Рабочая характеристика любого защитного устройства, защищающего кабель от перегрузки, должна отвечать условиям:

$$I_n \leq I_a \leq I_z;$$

$$I_z \leq 1,45 I_n$$

где I_n — рабочий ток цепи;

I_z — допустимый длительный ток кабеля;

I_n — номинальный ток устройства защиты (для устройства защиты с регулируемыми характеристиками номинальным током I_n является ток выбранной установки);

I_z — ток, обеспечивающий надежное срабатывание устройства защиты, практически I_z принимают равным:

— току срабатывания при заданном времени срабатывания для автоматических выключателей;

— току плавления плавкой вставки при заданном времени срабатывания для предохранителей.

Примечание. В определенных случаях во избежание непредусмотренного срабатывания защиты следует учесть пиковые значения токов нагрузки. В случае циклической нагрузки значения I_n и I_z выбирают на основе значений I_n и I_z для термически эквивалентной постоянной нагрузки.

5.5. Защита УЗО

УЗО, как элемент электрической цепи, должно быть защищено от перегрузки и тока КЗ последовательным защитным устройством (ПЗУ).

ГОСТ Р 50571.5-94 [49] определяет в п. 433:

«Устройства защиты должны отключать любой ток перегрузки, протекающий по проводникам, раньше, чем такой ток мог бы вызвать повышение температуры проводников, опасное для изоляции, соединений, зажимов или среды, окружающей проводники».

ПУЭ (7-е издание, п. 7.1.76) [14]:

«...Не допускается использовать УЗО в групповых линиях, не имеющих защиты от сверхтока, без дополнительного аппарата, обеспечивающего эту защиту».

При использовании УЗО, не имеющих защиты от сверхтока, необходима их расчетная проверка в режимах сверхтока с учетом защитных характеристик вышестоящего аппарата, обеспечивающего защиту от сверхтока».

ГОСТ Р 50807-95 [29]:

п. 2.4.8. Устройство защиты от КЗ, указанное изготовителем, которое должно быть установлено последовательно с УЗО с целью защиты от токов КЗ.

п. 4.3.1. Устройство защиты от КЗ предназначено для обеспечения достаточной защиты УЗО от воздействия токов КЗ, не превосходящих значений номинального условного тока КЗ I_{nc} и номинального условного дифференциального тока КЗ $I_{\Delta n}$.

Изготовитель УЗО должен указать следующие характеристики устройства защиты от КЗ:

а) максимальное значение пропускаемой величины $I t$;

б) максимальное значение пропускаемого пикового тока I_p .

Если изготовитель не указывает эти значения для УЗО, то минимальные значения берутся в зависимости от условного тока КЗ из табл. 3.7.

Любое устройство защиты от КЗ, которое отвечает требованиям, установленным соответствующим стандартом и обладающее характеристиками п. а) и п. б), не превышающими значений, указанных изготовителем для УЗО, может использоваться для защиты УЗО.

ГОСТ Р 51326.1-99 [30]:

п. 9.11.2. УЗО должно быть защищено от КЗ посредством автоматических выключателей или предохранителей согласно требованиям соответствующих стандартов серии ГОСТ Р 50571.

п. 9.11.2.1. ПЗУ может быть автоматическим выключателем или плавким предохранителем, имеющими интеграл Джоуля Ft и пиковый ток I_p , не превосходящие способности выдерживать Ft и I_p , установленные для УЗО изготовителем.

Соответствие параметров УЗО условиям эксплуатации установки по номинальной включающей и отключающей способности по дифференциальному току определяется при проектировании путем расчета значения тока КЗ на землю в данной электроустановке.

Проверка соответствия УЗО наиболее важному параметру — условному расчетному току КЗ осуществляется соответствующим расчетом тока КЗ в данной электроустановке.

Во всех случаях применения УЗО его параметры должны соответствовать максимальным токам нагрузки и токам КЗ.

Схема включения УЗО должна предусматривать последовательное защитное устройство (автоматический выключатель, плавкая вставка), обеспечивающее защиту от сверхтоков.

Номинальный ток нагрузки УЗО должен быть равен или на ступень выше номинального тока последовательного защитного устройства.

Российский стандарт ГОСТ Р 50345-99 [39] классифицирует автоматические выключатели по току мгновенного расцепления: типы В, С и D.

Времятоковые рабочие характеристики автоматических выключателей типов В, С и D приведены на рис. 5.7–5.9.

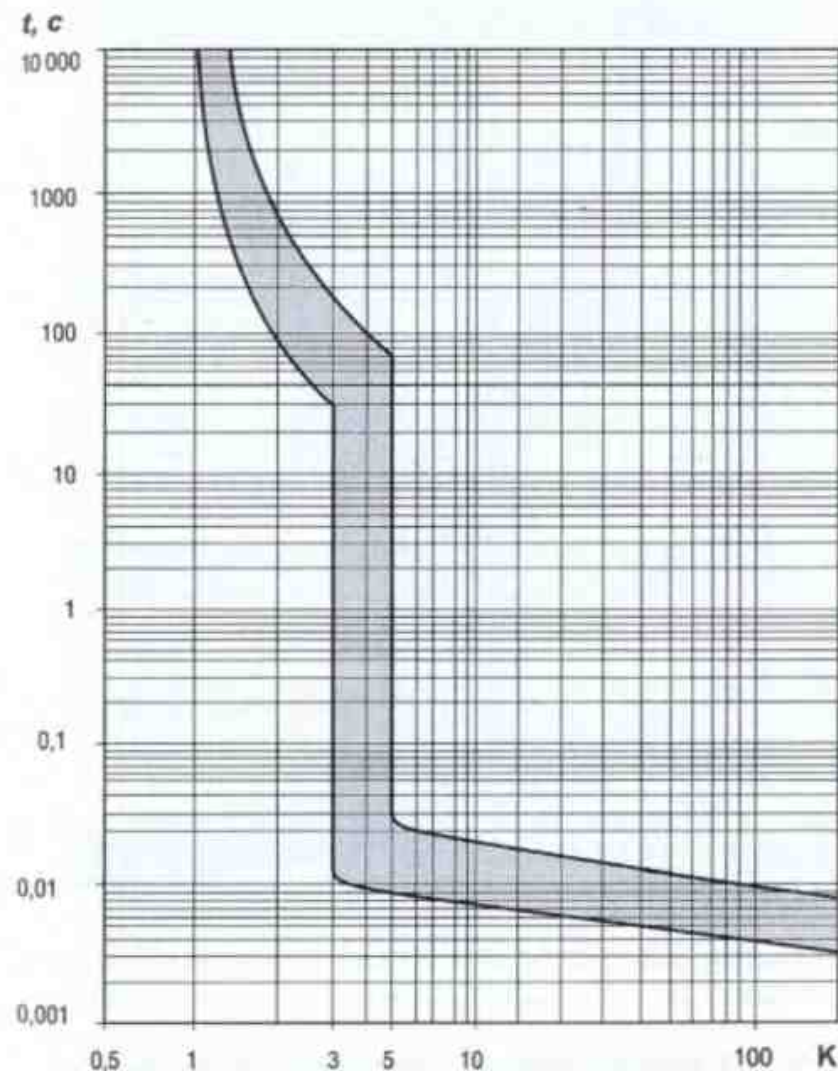


Рис. 5.7. Времятоковая характеристика автоматических выключателей типа В

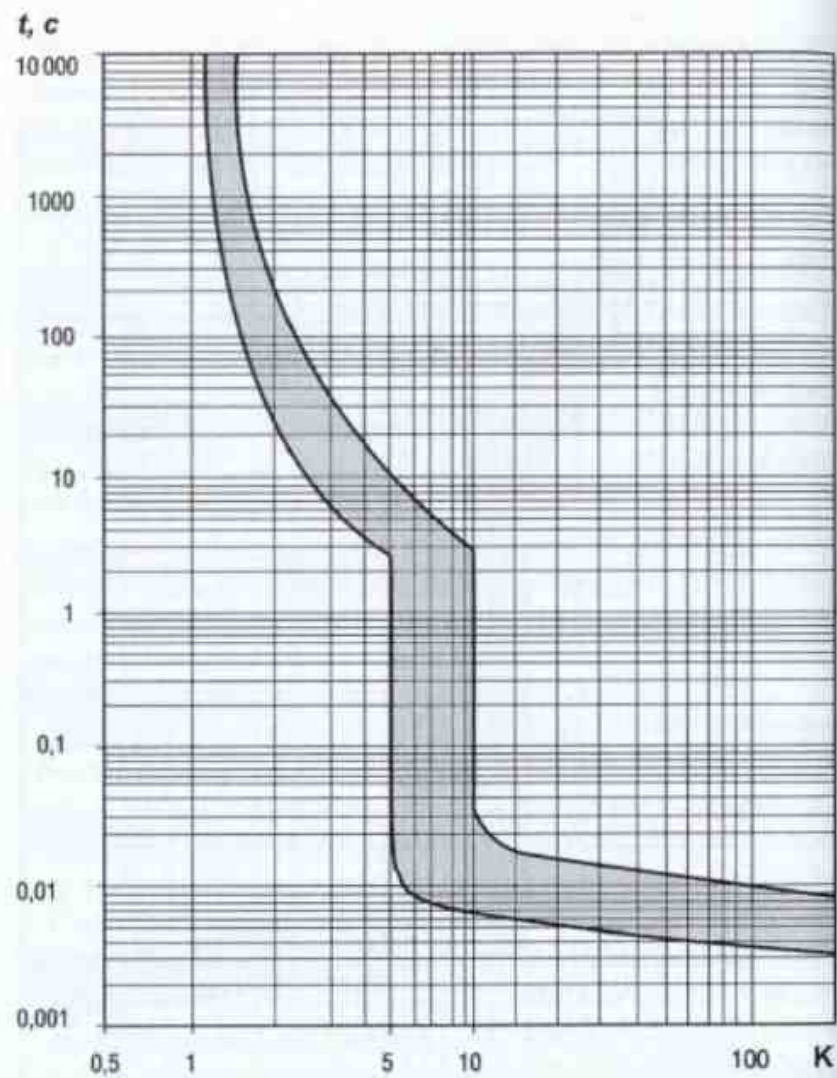


Рис. 5.8. Времятоковая характеристика автоматических выключателей типа С

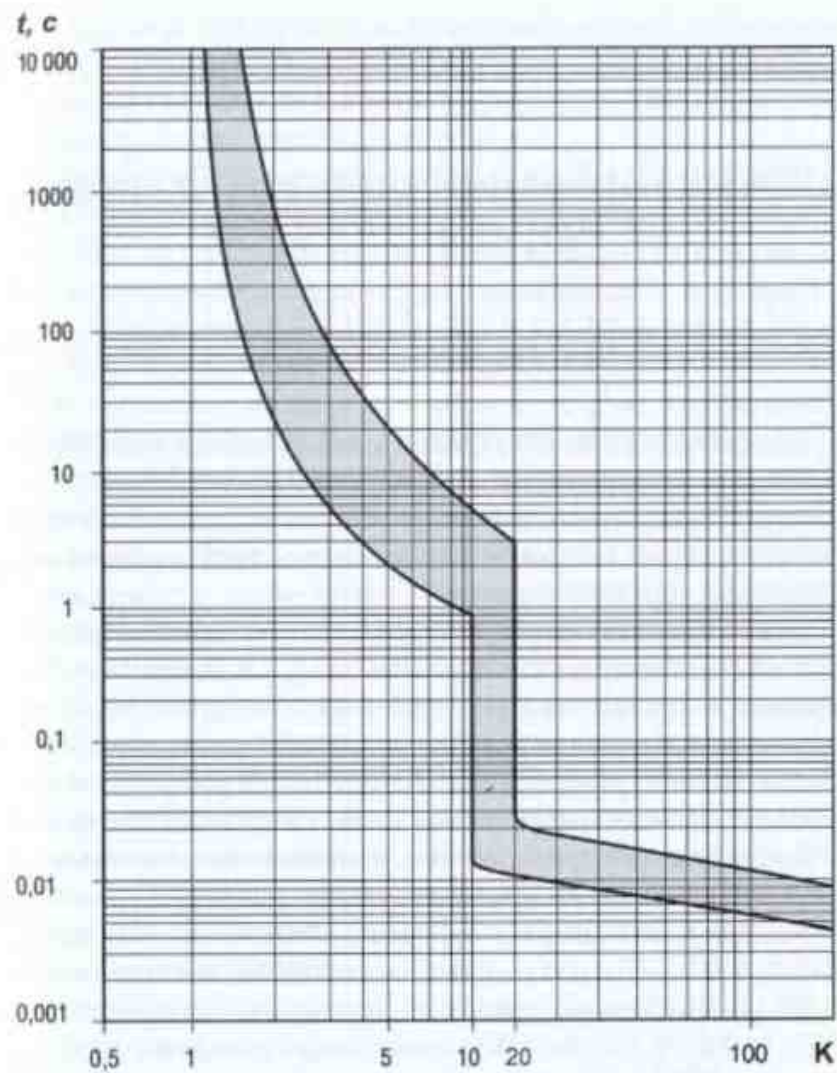


Рис. 5.9. Времятоковая характеристика автоматических выключателей типа D

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ УЗО

6.1. Общие требования

Проектирование, разработка и согласование проектных решений, разрешение на ввод в эксплуатацию объектов жилищно-гражданского назначения, их эксплуатация должны осуществляться в строгом соответствии с требованиями действующих стандартов и норм.

Основным нормативным документом являются Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [14]. ПУЭ нового — 7-го издания выпускаются и вводятся в действие отдельными разделами и главами по мере выполнения работ по их пересмотру, согласованию и утверждению. В п. 1.1.1 ПУЭ указывается, что Правила распространяются на вновь сооружаемые и реконструируемые электроустановки постоянного и переменного тока напряжением до 750 кВ.

В 1999 г. Минтопэнерго России утверждены некоторые разделы ПУЭ 7-го изд. — разд. 6 «Электрическое освещение» и разд. 7 «Электрооборудование специальных установок» (гл. 7.1 и гл. 7.2). С 1 июля 2000 г. утратили силу соответствующие разделы ПУЭ 6-го изд.

В 2002 г. утверждены раздел 1 «Общие правила» (гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9) и главы 7.5, 7.6, 7.10. Эти разделы введены в действие с 1 января 2003 г.

С 1 сентября 2003 г. введен в действие раздел 1, гл. 1.8. «Нормы приемо-сдаточных испытаний».

С 1 октября 2003 г. введены в действие в разделе 2 «Передача электроэнергии» главы 2.4 «Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ» и 2.5 «Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ».

С 1 января 2003 г. утратили силу главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9, 7.5, 7.6 и 7.10 ПУЭ 6-го издания.

В 2006 году вышло специальное 6-е издание ПУЭ с дополнениями и исправлениями, и исключением разделов, вошедших в 7-е издание (главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.8, 1.9, 2.4, 2.5, 4.1, 4.2, 6.1–6.6, 7.1, 7.2, 7.5, 7.6, 7.10) [87].

В настоящее время в российской системе нормативных документов в области электротехники имеет место серьезная проблема. Как выше указывалось, основным нормативным документом являются ПУЭ — документ, свод правил, разрабатываемый и утверждаемый государственным энергетическим ведомством. В то же время Госстандарт России выпускает стандарты, также регламентирующие требования к устройству электроустановок. Теоретически, в силу приоритета государственных стандартов, имеющих силу закона, ПУЭ, являясь ведомственным документом, должны учитывать и включать в себя все требования стандартов. Однако в реальной жизни подобная задача в силу ряда причин невыполнима. Поэтому встречаются разночтения и даже противоречия между требованиями ПУЭ и стандартов. Например, требования п. 7.1.13 главы 7.1 ПУЭ седьмого издания [14], касающиеся выполнения системы *TN-C-S*, полностью соответствуют ГОСТ Р 50571.2-94 [18], предусматривающему также системы *TT* и *TN-C*. В то же время с введением в действие с 01.01.2003 главы 1.7 ПУЭ электроустановки с системой *TN-C* при реконструкции должны выполняться согласно п. 1.7.3 этой главы.

В свое время с подобной проблемой столкнулась немецкая электротехника. В итоге там было принято решение о передаче всей полноты прав и полномочий в области разработки и контроля выполнения электротехнических норм

Программа выбора УЗО

Этапы выбора	Содержание
Анализ схемы электроустановки здания с целью обеспечения электробезопасности	Характеристика электроустановки. Система заземления. Категории нагрузки. Меры безопасности
Анализ работы электроустановки в нормальном и аварийном режимах	Расчет токов нагрузки в цепях. Расчет токов КЗ
Выбор типов защитных аппаратов с учетом условий эксплуатации	Технические параметры аппаратов защиты, включая УЗО. Температурный режим. Климатическое исполнение
Координация защитных устройств	Времятоковые характеристики защитных устройств
Селективность работы	Анализ схемы по условиям обеспечения селективности действия УЗО
Документация на УЗО	Наличие всех сертификатов. Наличие технического паспорта, руководства по эксплуатации с указанием технических параметров, гарантийного обязательства и др.

подконтрольной государству организации — Союзу немецких электротехников — *Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE)*, основанному в 1893 году. В переходный период с 1979 по 1984 годы нормативные документы *VDE*, являвшиеся одновременно и государственными стандартами, имели двойное обозначение — *DIN VDE*. Аналогичный процесс произошел в Австрии, где электротехнические нормативные документы выпускаются Союзом австрийских электротехников — *ÖVE*, и других странах.

Специфика проектирования, связанная с применением УЗО, определяется сравнительной новизной применения этих устройств в нашей стране и недостаточностью информационной базы по их применению, восполняемой в определенной степени материалами настоящего издания.

При проектировании электроустановок с применением УЗО наиболее существенное значение имеют следующие аспекты:

- анализ проектируемого объекта по условиям обеспечения необходимого уровня электробезопасности;
- выбор схемных решений;
- выбор места установки в соответствии с назначением УЗО;
- выбор типа и параметров УЗО;
- обеспечение селективности действия УЗО;
- рассмотрение особенностей работы УЗО в электроустановках при использовании различных систем заземления.

Выбор УЗО для применения в конкретной электроустановке должен осуществляться на стадии проектирования. По причине сравнительно недавнего начала широкого применения УЗО в нашей стране, в реальных условиях часто возникает ситуация, когда необходимо произвести выбор устройств для уже эксплуатируемой или смонтированной электроустановки.

В этом случае выбор УЗО должен осуществляться по программе, приведенной в табл. 6.1.

6.2. Нормативная база применения УЗО

6.2.1. Требования ПУЭ и нормативных документов по применению УЗО в электроустановках

Необходимость применения УЗО определяется проектной организацией по условиям обеспечения электро- и пожаробезопасности с учетом требований заказчика и в соответствии с действующими стандартами и нормативными документами.

Применение УЗО нормируется нормативными документами — в первую очередь новыми разделами ПУЭ 7-го издания [14]:

п. 1.7.50. ...Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ при наличии требований других глав ПУЭ следует применять устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

п. 1.7.58. Питание электроустановок напряжением до 1 кВ переменного тока от источника с изолированной нейтралью с применением системы *IT* следует выполнять, как правило, при недопустимости перерыва питания при первом замыкании на землю или на открытые проводящие части, связанные с системой уравнивания потенциалов. 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.

п. 1.7.59. Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система *TT*), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе *TN* не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие: $R_{\Sigma} I_{\Delta} \leq 50 \text{ В}$, где I_{Δ} — ток срабатывания защитного устройства; R_{Σ} — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников — заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника.

п. 1.7.80. Не допускается применение УЗО, реагирующие 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-коммумутационного аппарата.

п. 1.7.151. Для дополнительной защиты от прямого прикосновения и при косвенном прикосновении штепсельные розетки с номинальным током не более 20 А наружной установки, а также внутренней установки, но к которым могут быть подключены переносные электроприемники, используемые вне зданий либо в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, должны быть защищены устройствами защитного отключения с номинальным отключающим током не более 30 мА. Допускается применение ручного электроинструмента, оборудованного УЗО-вилками.

п. 1.7.159. В случае питания передвижной электроустановки от стационарного источника питания для защиты при косвенном прикосновении должно быть применено устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток.

п. 1.7.160. В точке подключения передвижной электроустановки к источнику питания должно быть установлено устройство защиты от сверхтоков и УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток которого должен быть на 1-2 ступени больше соответствующего тока УЗО, установленного на вводе в передвижную электроустановку.

п. 6.1.16. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных допускается напряжение до 220 В для светильников, в этом случае должно быть предусмотрено ... защитное отключение линии при токе утечки до 30 мА.

п. 6.1.49. Для установок наружного освещения: освещения фасадов зданий, монументов и тому подобное, наружной световой рекламы, и указателей в сетях *TN-S* или *TN-C-S* реко-

мендуется установка УЗО с током срабатывания до 30 мА, при этом фоновое значение токов утечки должно быть, по крайней мере, в 3 раза меньше уставки срабатывания УЗО по дифференциальному току.

п. 6.4.18. Установки световой рекламы, архитектурного освещения зданий следует, как правило, питать по самостоятельным линиям—распределительным или от сети зданий. ...Для линии должна предусматриваться защита от сверхтока и токов утечки (УЗО).

п. 7.1.48. ...В ваннах комнатах квартир и номеров гостиниц допускается установка штепсельных розеток в зоне 3 по ГОСТ Р 50571.11, присоединяемых к сети через разделительные трансформаторы или защищенные УЗО, реагирующими на дифференциальный ток, не превышающий 30 мА.

п. 7.1.74. В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником.

п. 7.1.79. В групповых сетях, питающих штепсельные розетки, следует применять УЗО с номинальным током срабатывания не более 30 мА.

Допускается присоединение к одному УЗО нескольких групповых линий через отдельные автоматические выключатели (предохранители).

Установка УЗО в линиях, питающих стационарное оборудование и светильники, а также в общих осветительных сетях, как правило, не требуется.

п. 7.1.81. Установка УЗО запрещается для электроприемников, отключение которых может привести к ситуациям, опасным для потребителей (к отключению пожарной сигнализации и т.п.).

п. 7.1.82. Обязательной является установка УЗО с номинальным током срабатывания не более 30 мА для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся вне помещений и в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью,

например, в зоне 3— ваннах и душевых помещений квартир и номеров гостиниц.

В нормативах Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОССТРОЯ РОССИИ)—строительных нормах и правилах (СНиПах) также имеются указания по применению УЗО.

СНиП 31-02-2001 «Дома жилые одноквартирные» [55], п. 6.17 гласит: «Электроустановки должны отвечать требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и государственных стандартов на электроустановки зданий с учетом положений настоящего пункта и быть оборудованы устройствами защитного отключения (УЗО)».

В п. 7.3.5 СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные» [56], введенного взамен СНиП 2.08.01-89, указано: «Внутридомовые и внутриквартирные электрические сети должны оборудоваться устройствами защитного отключения (УЗО) согласно ПУЭ».

В соответствии с действующими стандартами применение УЗО обязательно:

— для групповых линий, питающих электроприемники наружной установки (ГОСТ Р 50571.8-94 [88]);

— для мобильных (инвентарных зданий из металла или с металлическим каркасом) (ГОСТ Р 50669-94 [36]);

— для защиты штепсельных розеток ваннах и душевых помещений (ГОСТ Р 50571.11-96 [89]);

— для защиты штепсельных розеток строительных площадок (ГОСТ Р 50571.23-2000 [90]);

— для защиты от пожара (ГОСТ Р 50571.17-2000 [38]).

Кроме того, ряд документов в отдельных случаях рекомендует применение УЗО как дополнительное средство защиты от электропоражения при косвенном прикосновении.

В новом документе, введенном в действие 01.01.2004 взамен ВСН 59-88 «Электрооборудование жилых и общественных

зданий», называемом «СП 31-110-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» [57], имеется ряд указаний по применению УЗО:

п. 9.2. В муниципальных квартирах жилых домов рекомендуется предусматривать отдельные линии для питания штепсельных розеток жилых комнат, освещения, штепсельных розеток электроприемников кухни и коридора. При наличии розетки в зоне 3 ванной комнаты должна предусматриваться установка УЗО на ток до 30 мА.

п. 14.40. В ванных комнатах квартир, в умывальных, душевых, ванных комнатах и преддушевых общежитий и гостиниц допускается установка штепсельных розеток в зоне 3 по ГОСТ Р 50571.11, присоединенных к сети через разделяющий трансформатор или защищенных УЗО на ток до 30 мА.

СП 31-110-2003 снабжен приложением (рекомендуемым), в котором изложены рекомендации по применению УЗО в электроустановках жилых зданий. Учитывая важность этого документа, ниже приводится полный текст этого приложения.

А.1. Общая часть

А.1.1. Для защиты от поражения электрическим током УЗО, как правило, должно применяться в отдельных групповых линиях. Допускается присоединение к одному УЗО нескольких групповых линий через отдельные автоматические выключатели (предохранители).

А.1.2. Суммарное значение тока утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должно превосходить $\frac{1}{3}$ номинального тока УЗО. При отсутствии данных о токах утечки электроприемников его следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети — из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.

А.1.3. При выборе уставки УЗО необходимо учитывать, что в соответствии с ГОСТ Р 50807 значение отключающего

дифференциального тока находится в зоне от 0,5 до 1,0 номинального тока уставки.

А.1.4. Рекомендуется использовать УЗО, при срабатывании которых происходит отключение всех рабочих проводников, в том числе и нулевого рабочего, при этом наличие защиты от сверхтока в нулевом полюсе не требуется.

А.1.5. Применяемые типы УЗО функционально должны предусматривать возможность проверки их работоспособности, проверка УЗО (тестирование) для жилых объектов должна проводиться не реже одного раза в три месяца, о чем должна быть запись в инструкции по эксплуатации завода-изготовителя.

А.1.6. Необходимость применения УЗО определяется проектной организацией исходя из обеспечения безопасности в соответствии с требованиями заказчика и утвержденными в установленном порядке стандартами и нормативными документами.

Применение УЗО должно быть обязательным для групповых линий, питающих штепсельные соединители наружной установки в соответствии с ГОСТ Р 50571.8, или для защиты штепсельных розеток ванных и душевых помещений, если они не подключены к индивидуальному разделяющему трансформатору в соответствии с ГОСТ Р 50571.11.

А.1.7. Использование УЗО для объектов действующего жилого фонда с двухпроводными сетями, где электроприемники не имеют защитного заземления, является эффективным средством в части повышения электробезопасности. Срабатывание УЗО при замыкании на корпус в таких сетях происходит только при появлении дифференциального тока, то есть при непосредственном прикосновении к корпусу. В соответствии с этим установка УЗО может быть рекомендована как временная мера повышения безопасности до проведения полной реконструкции. Решение об установке УЗО должно приниматься в каждом конкретном случае после получения объективных данных о состоянии электропроводок и приведения оборудования в исправное состояние.

А.2. Защита от косвенного прикосновения

А.2.1. УЗО, управляемые дифференциальным током, наряду с устройствами защиты от сверхтока относятся к основным видам защиты от косвенного прикосновения, обеспечивающим автоматическое отключение питания.

А.2.2. Защита от сверхтока обеспечивает защиту от косвенного прикосновения путем отключения поврежденного участка цепи при глухом замыкании на корпус. При малых токах замыкания, снижении уровня изоляции, а также при обрыве нулевого защитного проводника УЗО является, по сути дела, единственным средством защиты.

А.3. Защита от прямого прикосновения

А.3.1. Основными видами защиты от прямого прикосновения являются изоляция токоведущих частей и мероприятия по предотвращению доступа к ним. Установка УЗО с номинальным током срабатывания до 30 мА считается дополнительной мерой защиты от прямого прикосновения в случае недостаточности или отказа основных видов защиты. То есть применение УЗО не может являться заменой основных видов защиты, а может их дополнять и обеспечивать более высокий уровень защиты при неисправностях основных видов защиты.

А.4. Общие требования по применению УЗО

А.4.1. При выборе конкретных типов УЗО необходимо руководствоваться следующим: устройства должны быть сертифицированы в России в установленном порядке; технические условия должны быть согласованы с Госэнергонадзором России.

А.4.2. При установке УЗО последовательно должны выполняться требования селективности. При двух- и многоступенчатой схемах УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно иметь уставки тока срабатывания и время срабатывания не менее чем в три раза большие, чем у УЗО, расположенного ближе к потребителю. Для УЗО, установленных на вводе осветительных (квартирных) щитков, в соответствии

с 7.1.72 и 7.1.84 ПУЭ требования селективности по времени срабатывания могут не выполняться.

А.4.3. В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником.

А.4.4. УЗО должно сохранять работоспособность при снижении напряжения до 50 % номинального.

А.4.5. Во всех случаях применения УЗО должно обеспечивать надежную коммутацию цепей нагрузки с учетом возможных перегрузок.

А.4.6. По наличию расцепителей УЗО выпускаются как имеющими, так и не имеющими защиту от сверхтока. Преимущественно должны использоваться УЗО, представляющие единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока.

А.4.7. Использовать УЗО в групповых линиях, не имеющих защиты от сверхтока, без дополнительного аппарата, обеспечивающего эту защиту, недопустимо.

А.4.8. При использовании УЗО, не имеющих максимальных расцепителей, должна быть проведена расчетная проверка УЗО в режимах сверхтока с учетом защитных характеристик аппарата, обеспечивающего максимальную токовую защиту.

А.4.9. В жилых зданиях не допускается применять УЗО, автоматически отключающие потребителя от сети при исчезновении или недопустимом снижении напряжения сети.

А.4.10. В жилых зданиях могут применяться УЗО типа *A*, реагирующие не только на переменные, но и на пульсирующие токи повреждений, или УЗО типа *АС*, реагирующие только на переменные токи утечки.

А.4.11. УЗО, как правило, следует устанавливать в групповых сетях, питающих штепсельные розетки. Установка УЗО в линиях, питающих стационарно установленное оборудование и светильники, а также в общедомовых осветительных сетях, как правило, не требуется.

А.4.12. УЗО рекомендуется устанавливать на квартирных щитках, допускается их установка на этажных щитках.

А.4.13. Установка УЗО, действующих на отключение, запрещается для электроприемников, отключение которых может привести к опасным последствиям: созданию непосредственной угрозы для жизни людей, возникновению взрывов, пожаров и т.п.

А.4.14. В зданиях для защиты от прямого прикосновения могут использоваться УЗО по способу действия как зависимые от внешнего источника питания (электронные), так и независимые (электромеханические).

А.4.15. Для сантехкабин, ванных и душевых рекомендуется устанавливать УЗО с номинальным дифференциальным отключающим током до 10 мА, если на них выделена отдельная линия, в остальных случаях, например при использовании одной линии для сантехкабины, кухни и коридора, следует использовать УЗО с номинальным дифференциальным током до 30 мА.

А.4.16. УЗО должно соответствовать требованиям подключения в части сечения проводников, количества жил и материала проводников.

А.5. Особенности применения УЗО для объектов индивидуального строительства

А.5.1. К многоквартирным, дачным и садовым домам должны предъявляться повышенные требования электробезопасности, что связано с их высокой энергонасыщенностью, разветвленностью электрических сетей и спецификой эксплуатации как самих объектов, так и электрооборудования, поскольку в большинстве случаев электрооборудование не закреплено за квалифицированными, постоянно действующими службами эксплуатации.

А.5.2. При выборе схемы электроснабжения, распределительных щитков и собственно типов УЗО следует обратить внимание на диапазон рабочих температур.

А.5.3. Ограничители перенапряжений или вентильные разрядники следует устанавливать до УЗО.

А.5.4. Для многоквартирных домов УЗО с номинальным током до 30 мА рекомендуется предусматривать для групповых линий, питающих штепсельные розетки внутри дома, включая подвалы, встроенные и пристроенные гаражи, а также в групповых сетях, питающих ванные комнаты, душевые и сауны. Для устанавливаемых снаружи штепсельных розеток установка УЗО с номинальным током до 30 мА обязательна.

Во Временных указаниях по применению УЗО в электроустановках жилых зданий (п. 1.10) [37], действующих до выхода новой редакции ПУЭ, указывается, что использование УЗО для объектов действующего жилого фонда с двухпроводными сетями, где электроприемники не имеют защитного заземления, является эффективным средством для повышения электробезопасности.

В таких сетях (типа *TN-C*) при замыкании на корпус УЗО срабатывает только при появлении тока утечки, т.е. при прямом прикосновении человека к корпусу, на который произошло замыкание с фазного проводника. Это означает, что при пробое на корпус, который в таких сетях не имеет соединения с защитным проводником (ввиду его отсутствия), УЗО не отключает электроустановку от сети и корпус остается под напряжением. Однако при возникновении цепи «корпус — человек — земля» — т.е. при прикосновении человека к корпусу, оказавшемуся под напряжением, УЗО срабатывает и отключает сеть, осуществляя защиту человека.

Решение об установке УЗО должно приниматься в каждом конкретном случае после получения объективных данных о состоянии электропроводок и приведения оборудования в исправное состояние.

В особо опасных помещениях, для ответственных и конечных потребителей дополнительно применяются УЗО, встроенные в розеточные блоки. Для переносных электроприборов и

электронинструмента рекомендуется использовать УЗО-розетки и УЗО-вилки, входящие в комплект электроприборов, или в виде шнура-удлинителя.

Не допускается применение УЗО в группах электроустановок, питающих части электроустановки, внезапное отключение которых может привести по технологическим причинам к возникновению ситуаций, опасных для пользователей и обслуживающего персонала, к отключению пожарной сигнализации и т.п.

6.2.2. Требования ПУЭ по применению УЗО для защиты переносных электроприемников

Электроприемники, которые могут находиться в руках человека в процессе их эксплуатации, отнесены к категории «переносных». Это, в первую очередь, ручной электроинструмент, переносные бытовые электроприборы, переносная радиоэлектронная радиоаппаратура и т.п.

В зависимости от категории помещения по уровню опасности поражения людей электрическим током для защиты при косвенном прикосновении в цепях, питающих переносные электроприемники, могут быть применены автоматическое отключение питания, защитное электрическое разделение цепей, сверхнизкое напряжение, двойная изоляция.

В ПУЭ 7-го издания [14] имеются следующие указания по защите переносных электроприемников:

п. 1.7.151. Для дополнительной защиты от прямого прикосновения и при косвенном прикосновении штепсельные розетки с номинальным током не более 20 А наружной установки, а также внутренней установки, но к которым могут быть подключены переносные электроприемники, используемые вне зданий, либо в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, должны быть защищены УЗО с номинальным дифференциальным отключающим током не более 30 мА.

Допускается применение ручного электронинструмента, оборудованного УЗО-вилками;

п. 1.7.153. УЗО защиты розеточных цепей рекомендуется размещать в распределительных (групповых, квартирных) щитках. Допускается применять УЗО-вилки.

6.2.3. Требования ПУЭ по применению УЗО в передвижных электроустановках

Системы электроснабжения передвижных электроустановок отличаются большой спецификой.

Передвижные электроустановки могут получать питание от стационарных или автономных передвижных источников электроэнергии.

В ПУЭ 7-го издания [14] имеются следующие указания по применению УЗО в передвижных электроустановках:

п. 1.7.157. Питание от стационарной электрической сети должно, как правило, выполняться от источника с глухозаземленной нейтралью с применением систем *TN-S* или *TN-C-S*. Объединение функций нулевого защитного проводника *PE* и нулевого рабочего проводника *N* в одном общем проводнике *PEN* внутри передвижной электроустановки не допускается. Разделение *PEN*-проводника питающей линии на *PE*- и *N*-проводники должно быть выполнено в точке подключения установки к источнику питания.

При питании от автономного передвижного источника его нейтраль, как правило, должна быть изолирована;

п. 1.7.159. В случае питания передвижной электроустановки от стационарного источника питания для защиты при косвенном прикосновении должно быть выполнено автоматическое отключение питания в соответствии с п. 1.7.79 ПУЭ с применением устройств защиты от сверхтоков. При этом времена отключения, приведенные в табл. 6.2. (табл. 1.7.1 ПУЭ [14]), должны быть уменьшены вдвое, либо дополнительно к уст-

роюству защиты от сверхтоков должно быть применено УЗО, реагирующее на дифференциальный ток;

Таблица 6.2

Время отключения источника питания (табл. 1.7.1 ПУЭ)

Номинальное фазное напряжение U_{ϕ} , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
более 380	0,1

п. 1.7.160. В точке подключения передвижной электроустановки к источнику питания должно быть установлено устройство защиты от сверхтоков и УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток которого должен быть на 1–2 ступени больше соответствующего тока УЗО, установленного на вводе в передвижную электроустановку;

п. 1.7.161. При применении автоматического отключения питания в системе IT для защиты при косвенном прикосновении должны быть выполнены:

защитное заземление в сочетании с непрерывным контролем изоляции, действующим на сигнал;

автоматическое отключение питания, обеспечивающее время отключения при двухфазном замыкании на открытые проводящие части в соответствии с табл. 6.3 (табл. 1.7.10 ПУЭ [14]);

Таблица 6.3.

Время отключения при двухфазном замыкании (табл. 1.7.10 ПУЭ)

Номинальное линейное напряжение U , В	Время отключения, с
220	0,4
380	0,2
660	0,06
более 660	0,02

Для обеспечения автоматического отключения питания должно быть применено: устройство защиты от сверхтоков в сочетании с УЗО, реагирующим на дифференциальный ток, или устройствами непрерывного контроля изоляции, действующим на отключение».

6.2.4. Требования ПУЭ по применению УЗО в электроустановках помещений для содержания животных

Правила устройства электроустановок в новом 7-ом издании [14] выдвигают высокие требования по обеспечению условий электробезопасности в электроустановках помещений для содержания животных. Это объясняется неблагоприятными по условиям электробезопасности условиями эксплуатации таких электроустановок, а также большей чувствительностью животных к воздействию электрического тока. Известно довольно много примеров массового поражения животных электрическим током, повлекших за собой большой материальный и моральный ущерб.

В п. 1.7.171 ПУЭ 7-го издания [14] указывается, что в электроустановках помещений для содержания животных для защиты людей и животных при косвенном прикосновении должно быть выполнено автоматическое отключение питания с применением системы TN-C-S. При питании таких электроустановок от встроенных и пристроенных подстанций должна быть применена система TN-S.

Время защитного автоматического отключения питания в помещениях для содержания животных, а также в помещениях, связанных с ними при помощи сторонних проводящих частей, должно соответствовать табл. 6.4.

П. 1.7.172 ПУЭ [14] «PEN-проводник на вводе в помещение должен быть повторно заземлен». Значение сопротивления повторного заземления должно соответствовать п. 1.7.103.

Таблица 6.4

Время защитного автоматического отключения питания в помещениях для содержания животных

Номинальное фазное напряжение U_n , В	Время отключения, с
127	0,35
220	0,2
380	0,05

п. 1.7.103. Общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

п. 1.7.173. В помещениях для содержания животных необходимо предусматривать защиту не только людей, но и животных, для чего должна быть выполнена дополнительная система уравнивания потенциалов, соединяющая все открытые и сторонние проводящие части, доступные одновременному прикосновению (трубы водопровода, вакуумпровода, металлические ограждения стойл, металлические привязи и др.).

п. 1.7.174. В зоне размещения животных в полу должно быть выполнено выравнивание потенциалов при помощи металлической сетки или другого устройства, которое должно быть соединено с дополнительной системой уравнивания потенциалов.

п. 1.7.175. Устройство выравнивания и уравнивания электрических потенциалов должно обеспечивать в нормальном режиме работы электрооборудования напряжение прикосновения не более 0,2 В, а в аварийном режиме при времени отключения более указанного в табл. 6.4 данного издания для

электроустановок в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках не более 12 В.

п. 1.7.176. Для всех групповых цепей, питающих штепсельные розетки, должна быть дополнительная защита от прямого прикосновения при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

п. 1.7.177. В животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых на вводном щитке.

6.3. Место установки УЗО

Установка УЗО должна предусматриваться во ВРУ, расположенных в помещениях без повышенной опасности поражения током, в местах, доступных для обслуживания.

Выбор места установки УЗО в групповых цепях электроустановки зданий должен выполняться с учетом включения в зону действия УЗО прежде всего участков электрической групповой цепи с наибольшей вероятностью электропоражения людей при прикосновении к токоведущим или открытым проводящим частям электрооборудования, которые могут вследствие повреждения изоляции оказаться под напряжением (розеточные группы, ванны, душевые комнаты, стиральные машины, помещения с повышенной опасностью поражения током и т.п.).

УЗО, предназначенные для осуществления противопожарной защиты, должны устанавливаться на главном вводе объекта.

В многоквартирных жилых домах УЗО рекомендуется устанавливать в групповых, в том числе квартирных щитках, допускается их установка в этажных распределительных щитках, в индивидуальных домах — во ВРУ и этажных распределительных щитках. В ПУЭ (7-е изд.) [14] в п. 1.7.153 указывается:

«...УЗО защиты розеточных цепей рекомендуется размещать в распределительных (групповых, квартирных) щитках».

В схемах электроснабжения радиального типа со значительным количеством отходящих групп рекомендуется установка общего на вводе и отдельного УЗО на каждую группу (потребитель) при условии соответствующего выбора параметров УЗО, обеспечивающих селективность их действия.

При выборе места установки УЗО в здании следует учитывать: способ монтажа электропроводки, материал строений, назначение УЗО, условия эксплуатации по электробезопасности, параметры УЗО, класс помещений, схемы подключения электроприборов и т.п. В помещениях с повышенной опасностью УЗО должно быть размещено в щитках со степенью защиты не ниже *IP 44*, при наружной установке не ниже *IP 54*.

6.4. Применение УЗО при различных системах заземления сетей

В разделе 1.7.1 данного издания были рассмотрены применяемые в настоящее время системы заземления электроустановок — *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT*, *IT*, отвечающие новым требованиям ПУЭ.

Применение УЗО в электроустановках каждой из рассмотренных систем заземления имеет свои особенности.

На рис. 6.1–6.5 приведены примеры включения УЗО в различных системах сетей.

На рис. 6.1 показан пример применения УЗО в электроустановке системы *TN-S*.

Режим *TN-S* по мнению специалистов обеспечивает лучшие условия электробезопасности при эксплуатации электроустановок и наиболее благоприятен для успешного функционирования УЗО.

В системе *TT* (рис. 6.2) все открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлению, электрически

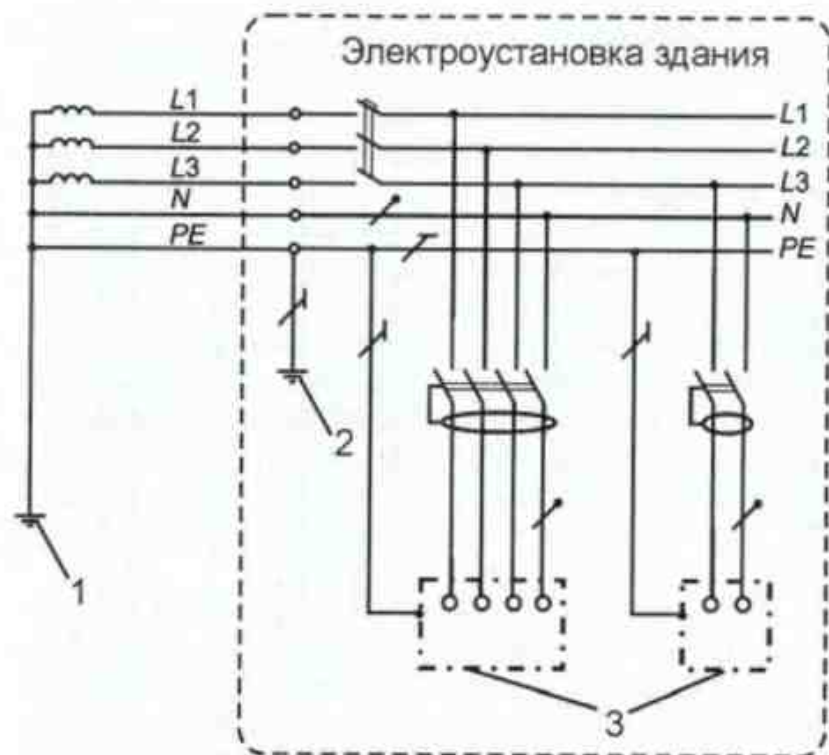


Рис. 6.1. Применение УЗО в системе *TN-S*

1 — заземление источника питания (на подстанции); 2 — защитное заземление электроустановки здания (во вводном щите); 3 — открытые проводящие части

независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

До настоящего времени ПУЭ запрещали применение системы *TT* в электроустановках зданий.

ГОСТ Р 50669–94 [36] «Электроснабжение и электробезопасность мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом для уличной торговли и бытового обслуживания населения» предписывает применение системы *TT* как основной в случае подключения указанных электроустановок к вводно-распределительным устройствам соседнего (капитального) здания.

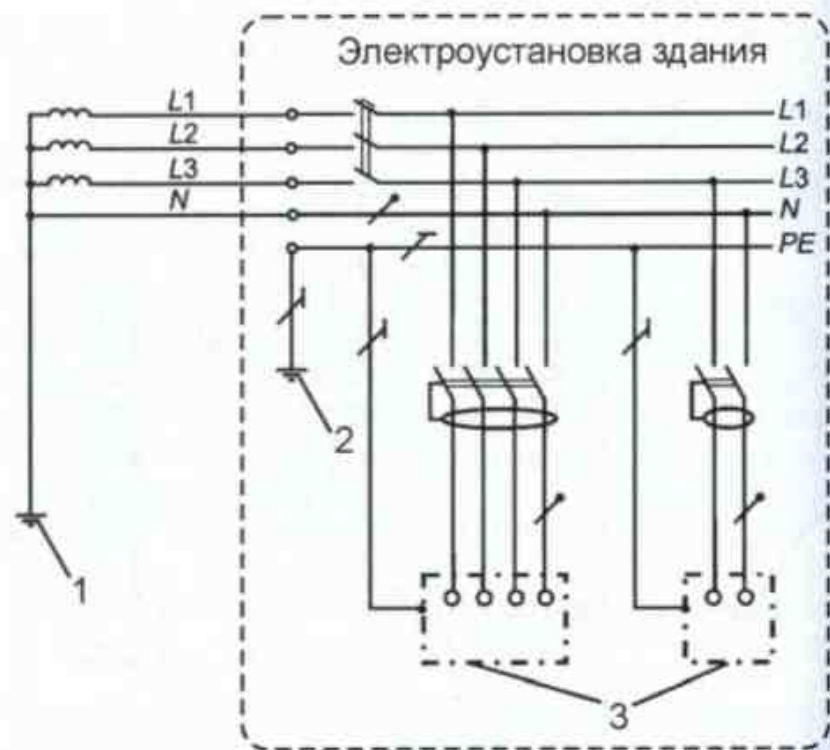


Рис. 6.2. Применение УЗО в системе *ТТ*

1 — заземление источника питания; 2 — защитное заземление электроустановки здания; 3 — открытые проводящие части

В стандарте ГОСТ Р 50571.3-94 п. 413.1.4 [12] указано, что в системе *ТТ* устройства защиты от сверхтока 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. На рис. 6.2 показан пример применения УЗО в электроустановке системы *ТТ*.

В реальных условиях осуществить автоматическое отключение питания электроустановки системы *ТТ* с помощью автоматических выключателей по ряду причин (необходимости обеспечения большой кратности тока КЗ, низкого сопротивления заземляющего устройства и др.) весьма проблематично.

Эффективное решение проблемы автоматического отключения питания дает применение чувствительных УЗО.

В п. 1.7.59 ПУЭ (7-е изд.) [14] содержится указание по применению системы *ТТ* в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе *TN* не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие:

$$R_s I_a \leq 50 \text{ В,}$$

где I_a — ток срабатывания защитного устройства;

R_s — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников — заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника. Данное требование означает, что 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.

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

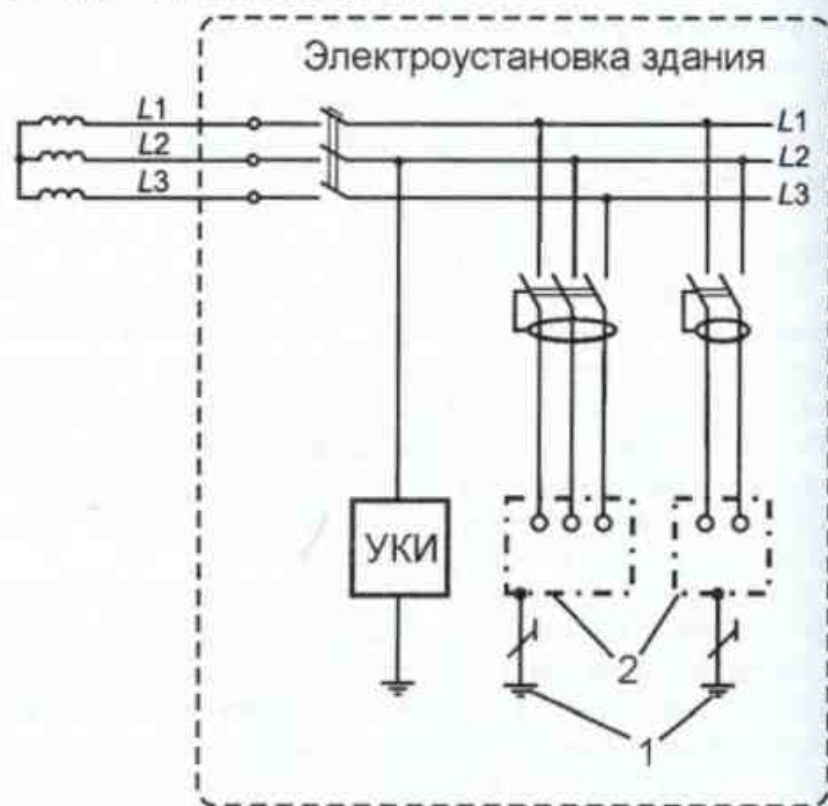
Расчетные допустимые значения сопротивления заземления R_s в зависимости от номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n}$ применяемого УЗО приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Допустимые значения сопротивления заземления

$I_{\Delta n}$, мА	10	30	100	300	500
R_z , Ом	≤ 5000	1650	500	165	100

Исходя из соображения возможной установки на вводе электроустановки селективного УЗО с уставкой 300 мА органы Энергонадзора ограничивают сопротивление заземлителя в системе *IT* значением 200 Ом.

Рис. 6.3. Применение УЗО в системе *IT*

1 — защитное заземление электроустановки здания; 2 — открытые проводящие части; УКИ — устройство контроля изоляции

В системе *IT* (рис. 6.3) 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 *IT* сетях фактором, определяющим как надежность, так и электробезопасность их эксплуатации. Поскольку в *IT* сетях очень важно поддерживать сопротивление изоляции на высоком уровне, ведение автоматического постоянного контроля изоляции является обязательным электротехническим мероприятием.

Применение УЗО в *IT* сетях 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 *IT* устройства контроля изоляции подают сигнал при первом замыкании на землю. Если до устранения первого замыкания происходит второе замыкание на землю, то происходит срабатывание УЗО (рис. 6.3.).

На рис. 6.4 показано применение УЗО в электроустановке здания системы *TN-C-S*. Здесь *PEN*-проводник разделяется на *N*- и *PE*-проводники не для всей электроустановки здания, а только для ее части. Первый электроприемник установлен в той части электроустановки здания, в которой имеется *PEN*-проводник (система *TN-C*). Второй электроприемник используется в части электроустановки здания, где применяется нулевой защитный проводник (система *TN-C-S*).

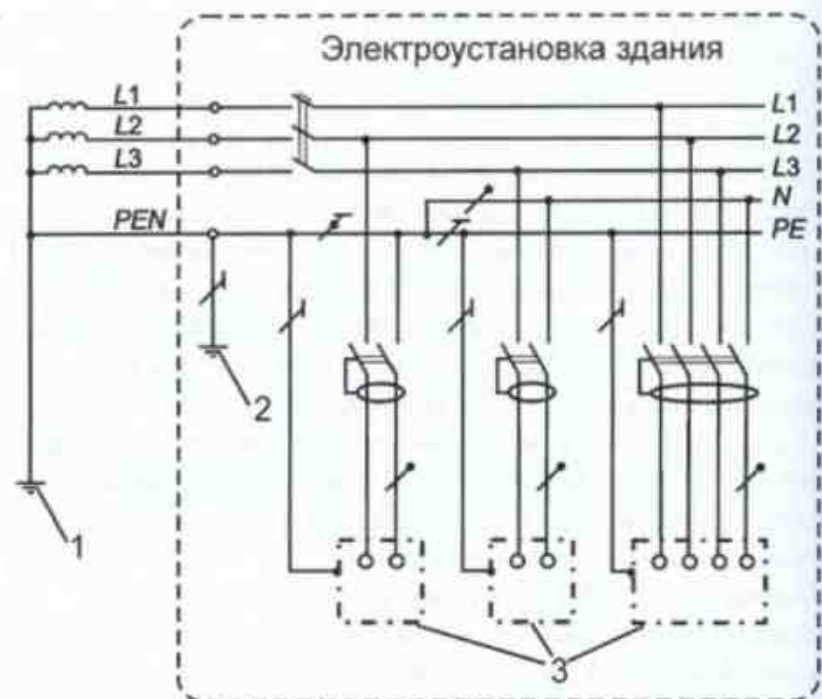


Рис. 6.4. Применение УЗО в системах TN-C, TN-C-S

1 — заземление источника питания; 2 — защитное заземление электроустановки здания; 3 — открытые проводящие части

В стандарте ГОСТ Р 50571.3-94 [12] в примечаниях к п. 413.1.3.8 имеются ограничения на применение УЗО в качестве защитного аппарата в системе TN:

1. В системе TN-C не должны применяться устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток.

2. Когда устройство защиты, реагирующее на дифференциальный ток, применяют для автоматического отключения в системе TN-C-S, PEN-проводник не должен использоваться на стороне нагрузки. Присоединение защитного проводника к PEN-проводнику должно осуществляться на стороне источника питания по отношению к устройству защиты, реагирующему на дифференциальный ток.

При этом, согласно указанному стандарту, допустимо использовать УЗО в тех частях электроустановки здания, где электрические цепи с PEN-проводниками расположены до входных выводов УЗО.

В п. 1.7.80 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 в порядке исключения, 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. На рис. 6.5 приведен пример применения УЗО в электроустановке системы TN-C.

До настоящего времени большая часть электроустановок в нашей стране работает с системой заземления типа TN-C.

Необходимо подробнее рассмотреть функционирование УЗО в таких электроустановках. В такой электроустановке при пробое изоляции на корпус электроприемника в случае, если этот корпус не заземлен (например, холодильник или стиральная машина на изолирующем основании), УЗО, включенное в цепь питания электроприемника, не сработает, поскольку нет цепи протекания тока утечки, а, следовательно, отсутствует разностный (дифференциальный) ток.

При этом на корпусе электроприемника окажется опасный потенциал относительно земли. В этом случае при прикосновении человека к корпусу электроприемника и протекании через его тело тока на землю, превышающего номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО (ток уставки) — $I_{\Delta n}$,

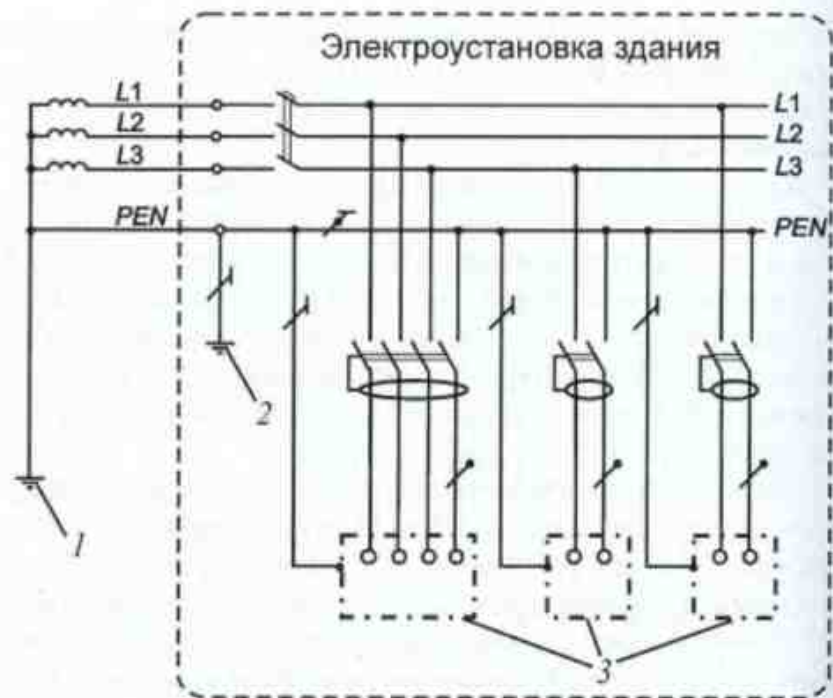


Рис. 6.5. Применение УЗО в системе TN-C

1 — заземление источника питания; 2 — защитное заземление электроустановки здания; 3 — открытые проводящие части

УЗО среагирует и отключит электроустановку от сети, в результате жизнь человека будет спасена.

Это означает, что в рассмотренном случае с момента нарушения изоляции и возникновения на корпусе электроприемника электрического потенциала до момента отключения дефектной цепи от сети существует период потенциальной опасности поражения.

Из вышеизложенного следует, что и в электроустановках с системой заземления TN-C применение УЗО также оправдано, поскольку это устройство и в таких электроустановках обеспечивает эффективную защиту от электропоражения.

Если же в такой электроустановке в соответствии с п. 1.7.80 ПУЭ 7-го издания будет выполнено подсоединение открытых проводящих частей электроприемника к PEN-проводнику со стороны источника питания по отношению к УЗО, то УЗО отключит дефектный электроприемник от сети сразу же после возникновения повреждения изоляции.

6.5. Селективность работы УЗО

Для обеспечения селективной работы нескольких УЗО в радиальных схемах электроснабжения необходимо учитывать следующие факторы.

В силу очень высокого быстродействия УЗО практически невозможно обеспечить селективность действия УЗО по току при значениях уставок на соседних ступенях защиты, например, 10 и 30 мА, или 30 и 100 мА.

Необходимо также учитывать, что на практике утечка тока в электроустановке вовсе не обязательно плавно увеличивается по мере старения изоляции, появления мелких дефектов и т.д. Возможны пробой изоляции или ее серьезное повреждение, когда ток утечки мгновенно достигает значения, превышающего уставки устройств на обеих ступенях защиты. Очевидно, что в этих случаях возможно срабатывание любого, или даже нескольких УЗО, установленных последовательно в цепи.

Селективность работы УЗО может быть обеспечена применением модификаций УЗО с задержкой срабатывания — с индексами *S* или *G* (некоторые производители используют вместо индекса *G* индекс *KI*). УЗО с индексом *S* имеют выдержку времени от 0,13 до 0,5 с (см. табл. 3.5), с индексом *G* — меньшую выдержку, примерно 0,06 с.

Важно учесть, что УЗО, работающие с выдержкой по времени, находятся более долгое время под воздействием экстремальных токов; поэтому к ним предъявляются повышенные

требования по условному току КЗ ($I_{\text{кз}}$), термической и динамической стойкости, коммутационной способности и т.д.

На рис. 6.6 приведены времятоковые характеристики УЗО без выдержки времени с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n} = 30$ мА и УЗО с выдержкой времени (характеристика *S*) с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n} = 300$ мА.

Во Франции широко практикуется применение селективных УЗО (с выдержкой времени) как весьма эффективное противопожарное мероприятие. На главном вводе в распределительном щите электроустановки, как правило, устанавливают УЗО противопожарного назначения типа *S* с номинальным отключающим дифференциальным током 300 или 500 мА.

Характеристики, представленные на рис. 6.6, иллюстрируют принцип селективности работы УЗО обычного типа в сочетании с УЗО типа *S* в схемах типа приведенных на рис. 6.7.

В Германии, Австрии устройства с выдержкой времени применяются в меньшей степени, предпочтение отдается радиальным схемам с более чувствительными УЗО, выполняющими как электрозщитные, так и противопожарные функции. Однако в электроустановках в сельской местности, где электроснабжение осуществляется воздушными линиями, принято устанавливать селективные УЗО. Это делается с целью избежать ложных отключений УЗО при воздействии кратковременных импульсов, возникающих в сети при разрядах молнии.

Кроме того, установка селективных УЗО приобретает особый смысл, если рассматривать это дополнительное к основной защите устройство как резервное или дублирующее, что является в технике одним из общих принципов построения сложных систем.

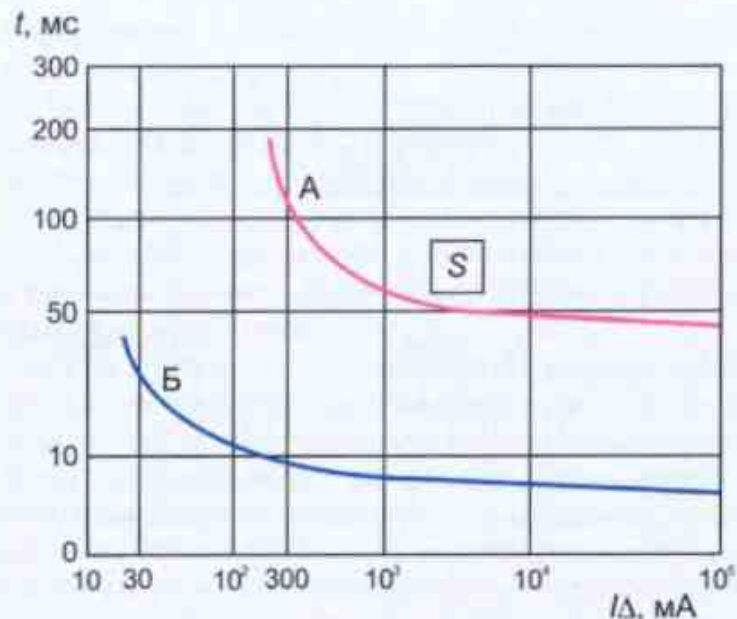


Рис. 6.6. Времятоковые характеристики УЗО

A — характеристика УЗО типа *S* ($I_{\Delta n} = 300$ мА),
B — обычное УЗО ($I_{\Delta n} = 30$ мА)

6.6. Выбор типа УЗО

Как ранее указывалось в разделе 2.4, УЗО разделяют на типы: *АС*, реагирующие на дифференциальный синусоидальный переменный ток, *A*, реагирующие на синусоидальный переменный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи и *B*, реагирующие на синусоидальный переменный, пульсирующий постоянный и постоянный дифференциальные токи.

П. 7.1.78 ПУЭ 7-го издания гласит:

«В зданиях могут применяться УЗО типа *A*, реагирующие как на переменные, так и на пульсирующие токи повреждений, или *АС*, реагирующие только на переменные токи утечки.

Источником пульсирующего тока являются, например, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые

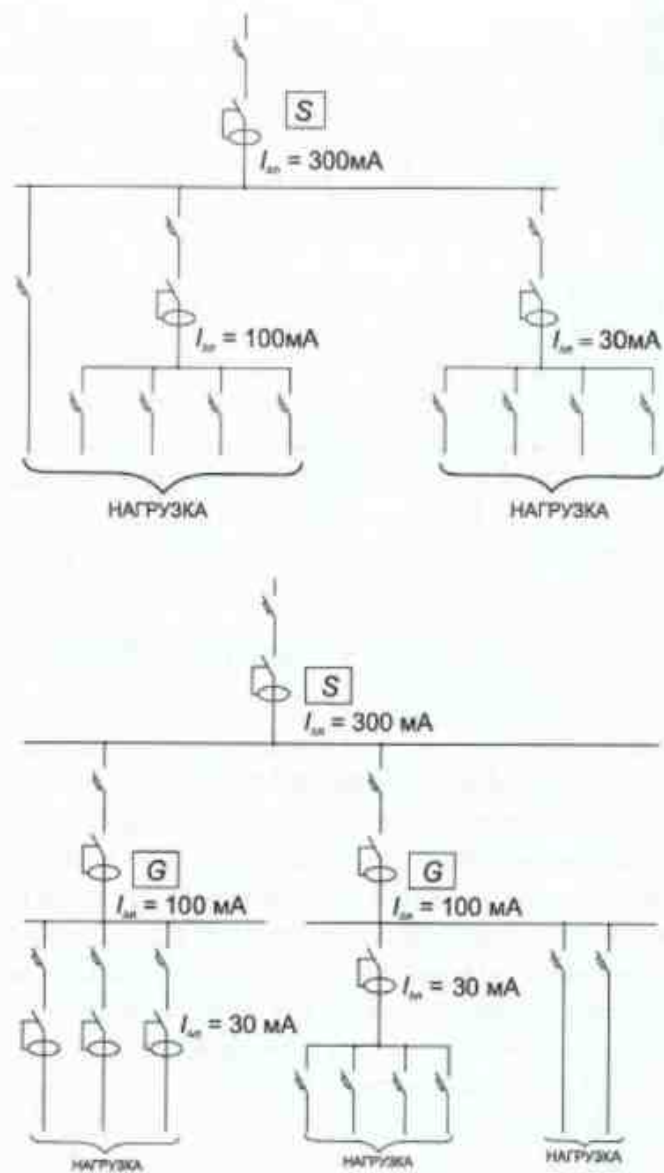


Рис. 6.7. Примеры схем с 2-я и 3-я уровнями селективности

источники света, телевизоры, видеомэагнитофоны, персональные компьютеры и др.».

Во «Временных указаниях по применению УЗО в электроустановках жилых зданий» [37] указано:

«В жилых зданиях, как правило, должны применяться УЗО типа *A*, реагирующие не только на переменные, но и на пульсирующие токи повреждений. Использование УЗО типа *АС*, реагирующих только на переменные токи утечки, допускается в обоснованных случаях».

Следует отметить, что в последние годы резко возросло количество электроприборов с бестрансформаторным питанием.

Практически все персональные компьютеры, телевизоры, видеомэагнитофоны имеют импульсные блоки питания, все последние модели электронинструмента, стиральных, швейных машин, бытовых кухонных электроприборов снабжены тиристорными регуляторами без разделительного трансформатора. Широко применяются различные светильники — торшеры, бра с тиристорными светорегуляторами.

Это означает, что вероятность возникновения утечки пульсирующего постоянного тока, а, соответственно, и поражения человека значительно возросла, что и явилось основанием для внедрения в широкую практику УЗО типа *A*.

В европейских странах, в соответствии с требованиями электротехнических норм, последние несколько лет ведется повсеместная замена УЗО типа *АС* на тип *A*. (См. также раздел 2.3 настоящего издания).

В нашей стране также началось широкое внедрение УЗО типа *A*. Опытные проектировщики при выполнении ответственных заказов закладывают в проекты только тип *A*.

В табл. 6.6 приведены осциллограммы токов в цепях, содержащих различные управляемые и неуправляемые вентильные элементы, и отмечена возможность применения в этих цепях УЗО типов *АС*, *A* или *B*.

УЗО типа *B* пока распространено довольно редко, его применяют в специальных промышленных электроустановках

со смешанным питанием — переменным, выпрямленным и постоянным токами.

6.7. Схемы подключения УЗО в электроустановках зданий

Согласно ГОСТ Р 50571.3-94 [12] (п. 413.1.3.2.) необходимым условием нормального функционирования УЗО в электроустановке здания является отсутствие в зоне действия УЗО любых соединений нулевого рабочего проводника N с заземленными элементами электроустановки и нулевым защитным проводником PE .

В распределительных щитах электроустановок с системой заземления $TN-C-S$ в точках разделения PEN -проводника необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины нулевого рабочего N и нулевого защитного PE - проводников.

Поскольку повреждение и старение изоляции возможны и в фазных, и в нулевом рабочем проводниках, а УЗО реагирует на утечку на землю с любого из них, на отходящих линиях следует устанавливать двух- и четырехполюсные автоматические выключатели. Только в этом случае возможно методом поочередного включения линий найти неисправную цепь, в том числе и цепь с утечкой с нулевого проводника без демонтажа вводно-распределительного устройства, а также возможно отключить неисправную цепь для обеспечения работы остальной части электроустановки.

В ГОСТ Р 50571.9-94 [51] содержатся указания по выполнению и защите нулевого рабочего и нулевого защитного проводников.

В п. 473.3.2 «Защита нулевого рабочего проводника» регламентируется порядок выполнения защиты нулевого рабочего проводника от тока КЗ:

п. 473.3.2.1. Системы TT и TN

а) В случаях, когда сечение нулевого рабочего провод-

Таблица 6.6

Работоспособность УЗО типов АС, А и В в схемах с выпрямителями

Схема	Ток нагрузки I_n	Дифференциальный ток $I_{\Delta n}$	Работоспособность УЗО типов		
			АС	А	В
			да	да	да
			да	да	да
			да	да	да
			нет	да	да
			нет	да	да
			нет	да	да
			нет	нет	да
			нет	нет	да
			нет	нет	да
			нет	нет	да

ника, по крайней мере, равно или эквивалентно сечению фазных проводников, не требуется предусматривать устройства обнаружения тока КЗ в этом проводнике или устройства его отключения.

б) В случаях, когда сечение нулевого рабочего проводника меньше сечения фазных проводников, должно быть предусмотрено обнаружение тока КЗ в нулевом рабочем проводнике, соответствующего его сечению, с воздействием на отключение фазных проводников. При этом отключение нулевого рабочего проводника является обязательным. Однако не требуется обнаружения тока КЗ в нулевом рабочем проводнике, если одновременно выполняются следующие условия:

— нулевой рабочий проводник защищен от КЗ с помощью защитного устройства фазных проводников цепи;

— максимально ожидаемый ток, который может протекать по нулевому рабочему проводнику в нормальном режиме, значительно меньше значения длительно допустимого тока этого проводника.

Примечание. Второе условие выполняется, если передаваемая мощность как можно более равномерно распределяется между рабочими фазами. Например, если сумма мощностей электроприемников, включенных между фазой и нулевым рабочим проводником (освещение, штепсельные розетки) намного меньше суммарной мощности рассматриваемой цепи. Сечение нулевого рабочего проводника должно быть не меньше 50 % сечения фазного проводника.

п. 473.3.2.2. Система IT

Системы IT, как правило, не должны иметь нулевого рабочего проводника. Однако в случаях применения системы IT с нулевым рабочим проводником необходимо предусматривать устройства обнаружения сверхтока в нулевом проводнике каждой цепи с воздействием на отключение всех проводников соответствующей цепи, находящихся под напряжением, включая нулевой рабочий проводник.

Не требуется выполнения таких мер, если:

нулевой рабочий проводник надежно защищен от КЗ с помощью устройства, установленного со стороны питания, например на вводе в установку, в соответствии с правилами, указанными в п. 434.3. ГОСТ 50571.5;

рассматриваемая цепь защищена с помощью устройства защитного отключения, реагирующего на дифференциальный ток с током уставки не более 0,15 максимально допустимого тока нулевого рабочего проводника.

Такое устройство должно отключать все находящиеся под напряжением проводники соответствующей цепи, в том числе нулевой рабочий проводник.

Если требуется отключение нулевого рабочего проводника, то он должен отключаться после отключения фазных проводников, а включаться одновременно с фазными проводниками или ранее».

В ГОСТ Р 50571.3-94 в п. 413 «Защита от косвенного прикосновения» сформулированы требования к выполнению защитного заземления в системе TT:

п. 413.1.4. Система TT

п. 413.1.4.1: Все открытые проводящие части, защищенные одним защитным устройством, должны присоединяться защитным проводником к одному заземляющему устройству. Если несколько защитных устройств установлены последовательно, то это требование применяется отдельно к каждой группе открытых проводящих частей, защищаемой каждым устройством.

Нейтральная точка или, если таковой не существует, фаза питающего генератора или трансформатора должны быть заземлены.

п. 413.1.4.2. Должно выполняться следующее условие:

$$R_A I_a \leq 50 \text{ В.}$$

где R_A — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника;

I_a — ток срабатывания защитного устройства.

Если защитное устройство является устройством защитного отключения и реагирует на дифференциальный ток, то под I_a подразумевается уставка защитного устройства по дифференциальному току $I_{\Delta n}$.

Если защитное устройство — устройство защиты от сверхтока, то оно должно быть:

— либо устройством с обратно зависимой времятоковой характеристикой и I_a — значение тока, обеспечивающее время срабатывания устройства не более 5 с;

— либо устройством с отсечкой тока и тогда I_a — уставка по току отсечки.

На рис. 6.8–6.18 приведены примеры схем электроустановок зданий, отвечающих требованиям современных нормативных документов, с применением УЗО (для примера взят номенклатурный ряд АСТРО*УЗО).

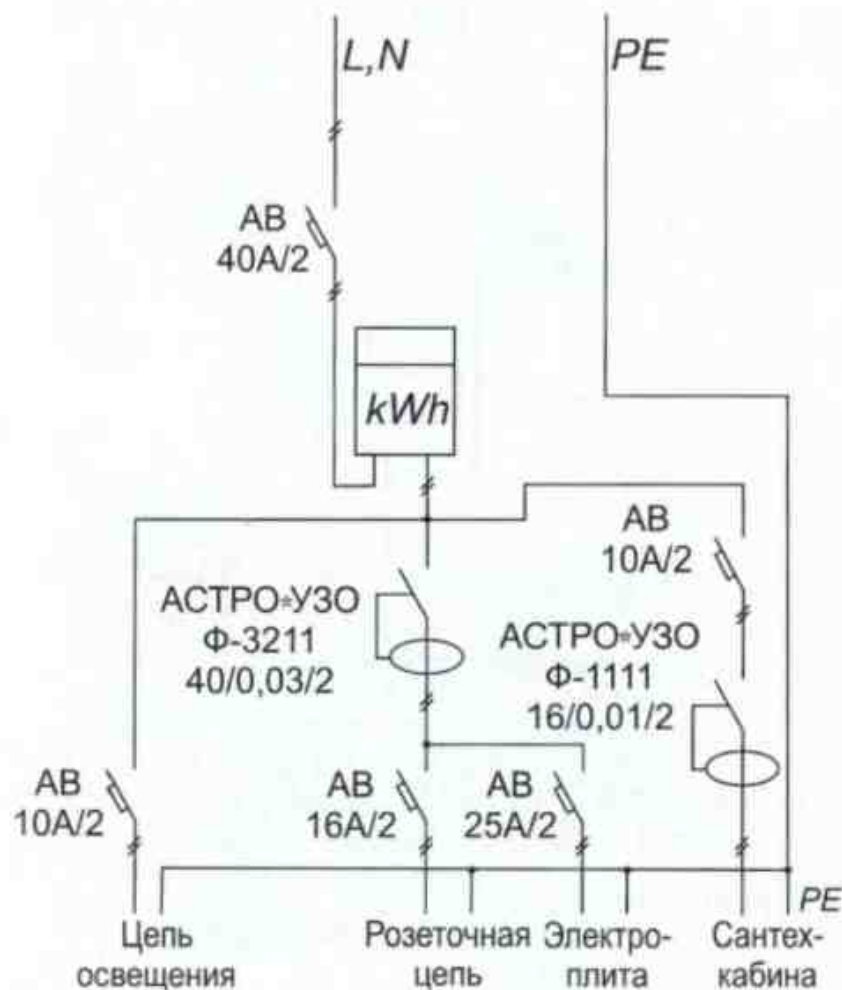


Рис. 6.8. Схема электроснабжения квартиры с системой TN-S

УЗО Ф-3211 защищает: цепь освещения, розеточную цепь и электроплиту; УЗО Ф-1111 защищает розеточную цепь ванной комнаты, выделенную в отдельную линию.

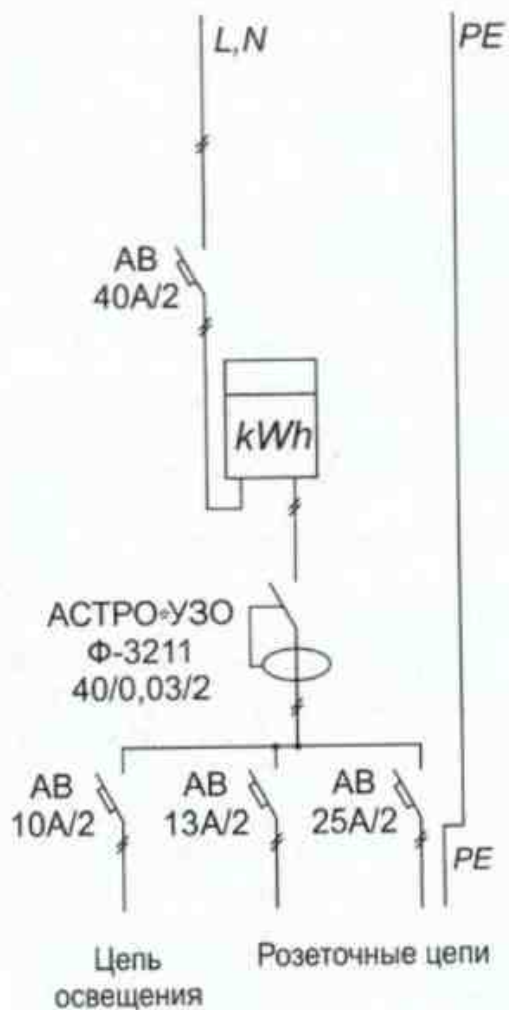


Рис. 6.9. Схема электроснабжения квартиры при отсутствии нулевого защитного проводника PE в части розеточной цепи и цепи освещения

Рекомендуемое временное решение для старого жилого фонда

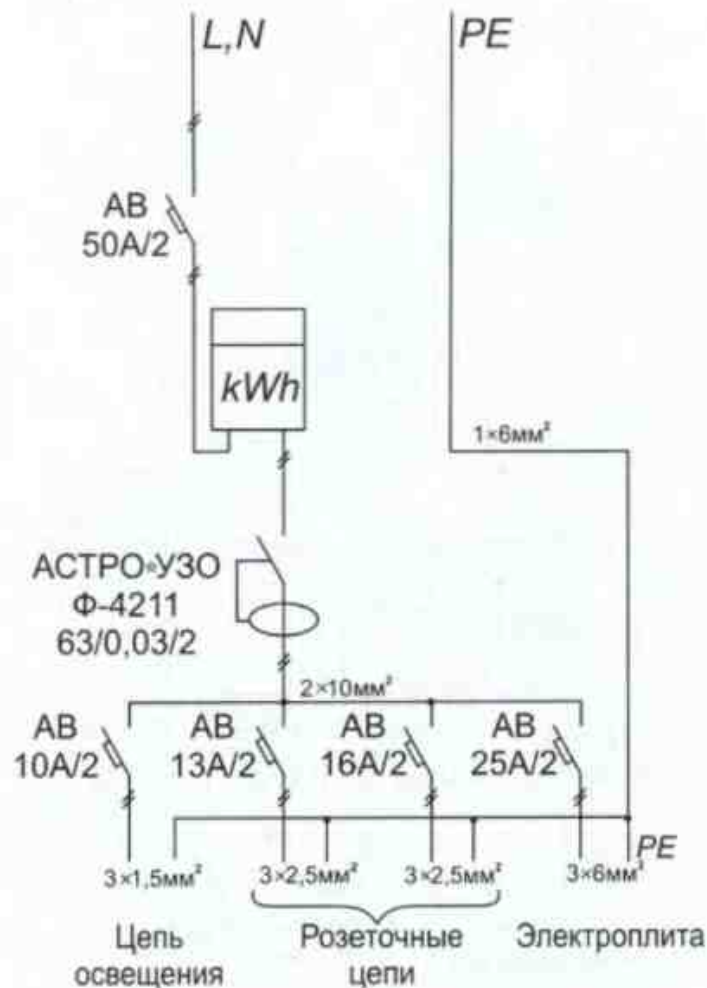


Рис. 6.10. Схема электроснабжения квартиры с электроплитой и рекомендуемыми сечениями медных проводников

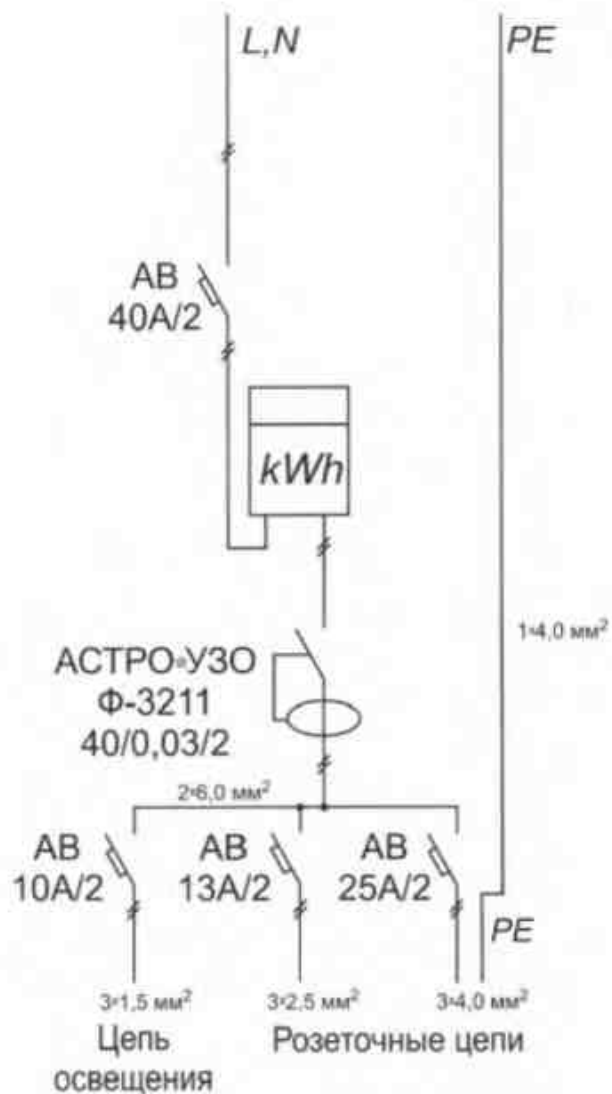


Рис. 6.11. Схема электроснабжения квартиры с газовой плитой с рекомендуемыми сечениями медных проводников

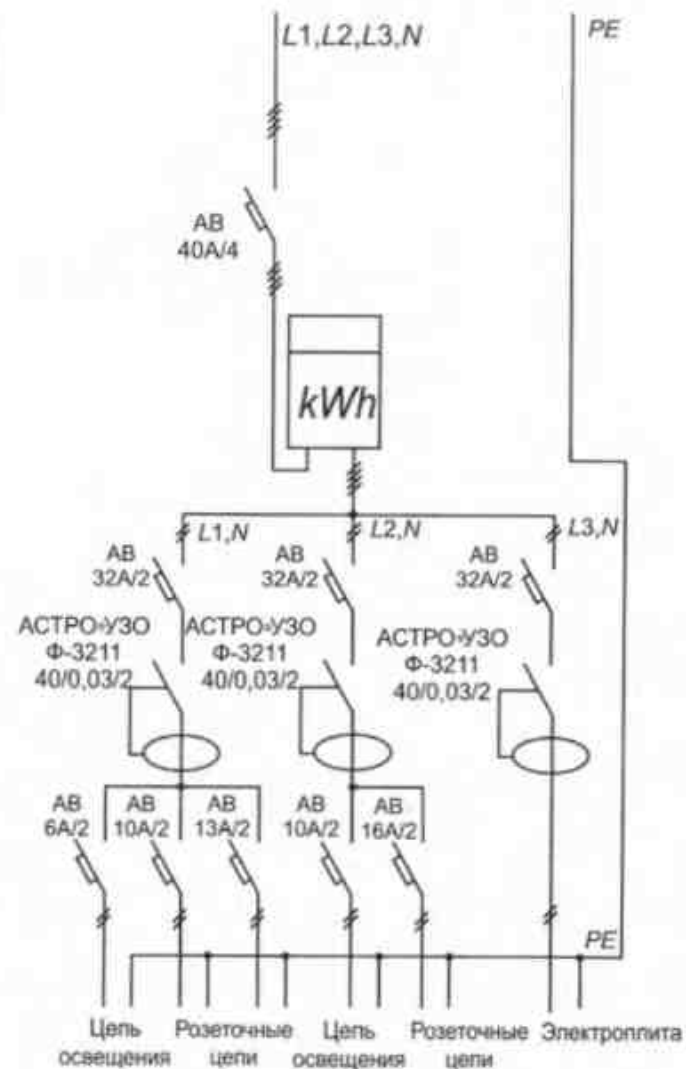


Рис. 6.12. Схема электроснабжения здания с трехфазным вводом

Рекомендуется при отсутствии трехфазной нагрузки с целью обеспечения резервирования питания потребителей

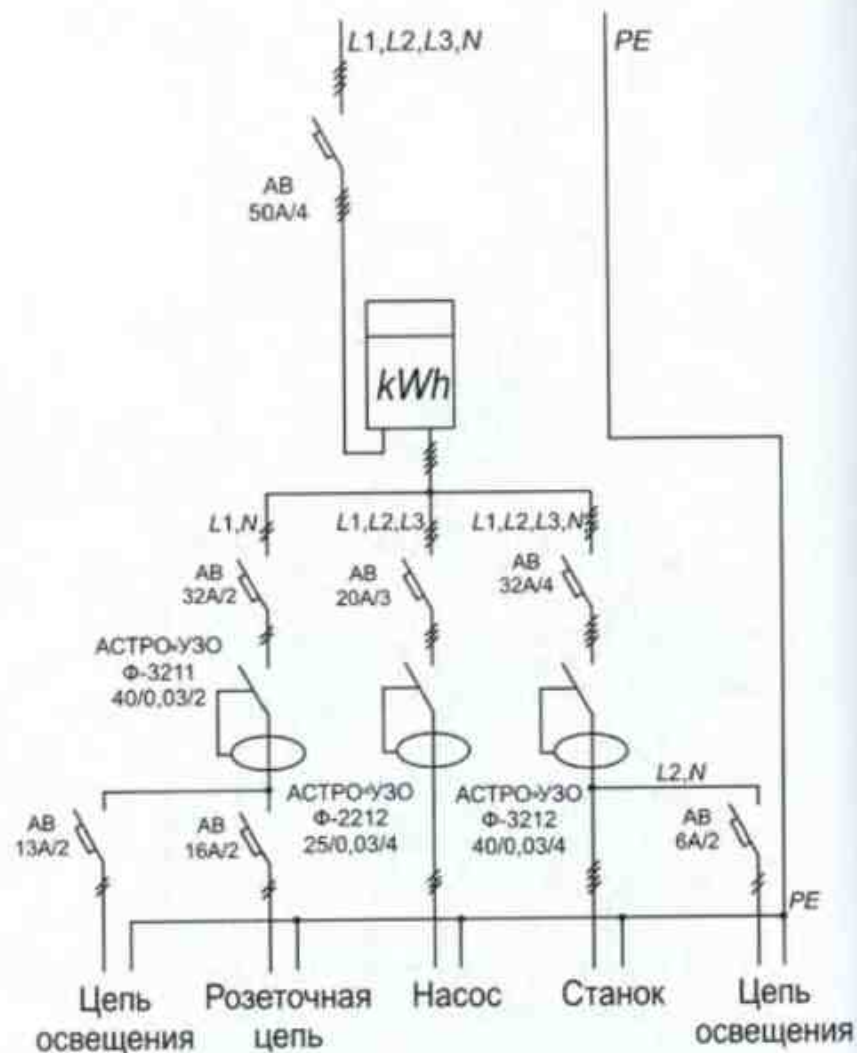


Рис. 6.13. Схема электроснабжения мастерской
 Рекомендуется при смешанной (одно- и трехфазной) нагрузке применение двух- и четырехполюсных УЗО

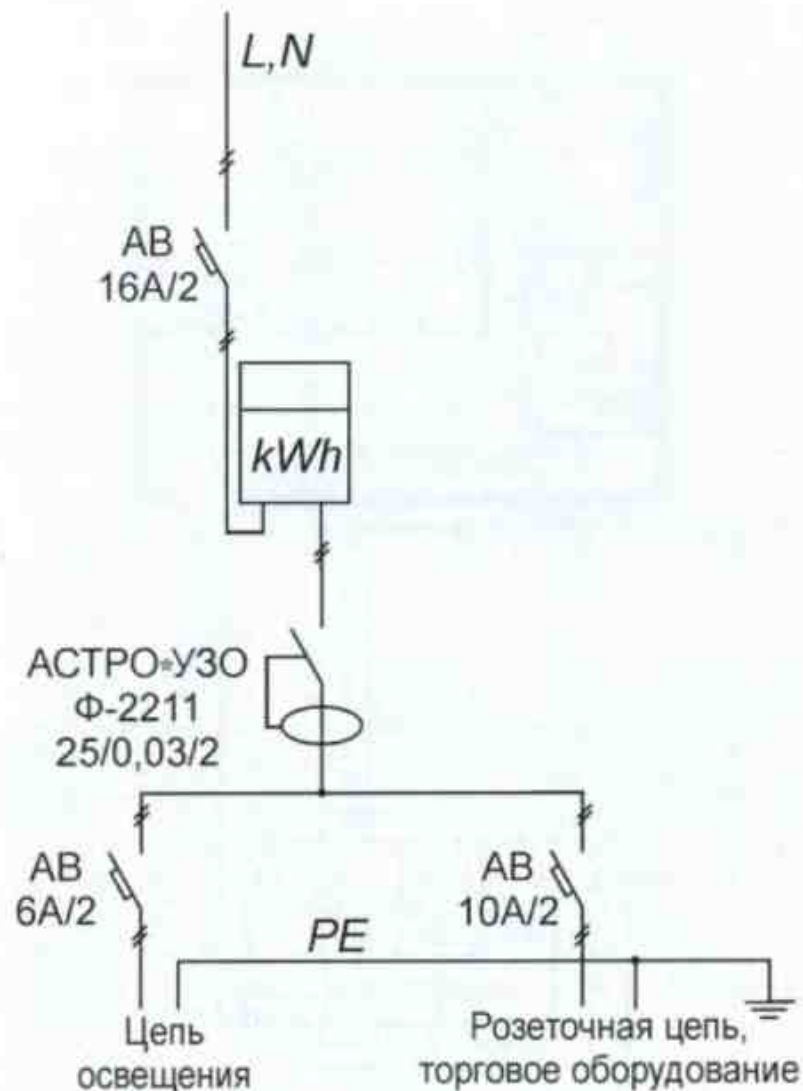


Рис. 6.14. Схема электроснабжения мобильного здания с системой TT

Использование данной схемы разрешается только при обязательной защите всех цепей устройствами защитного отключения

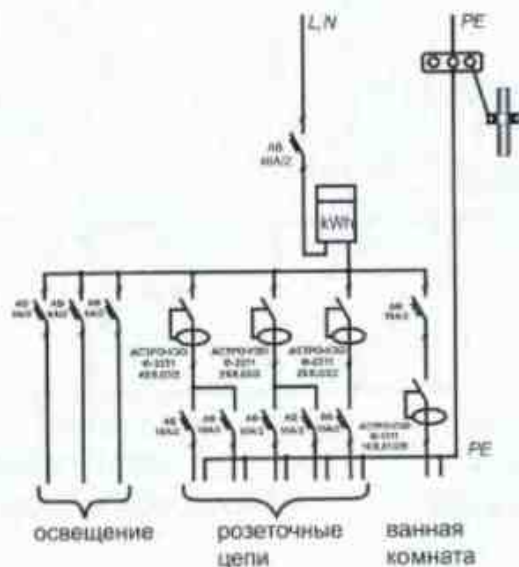
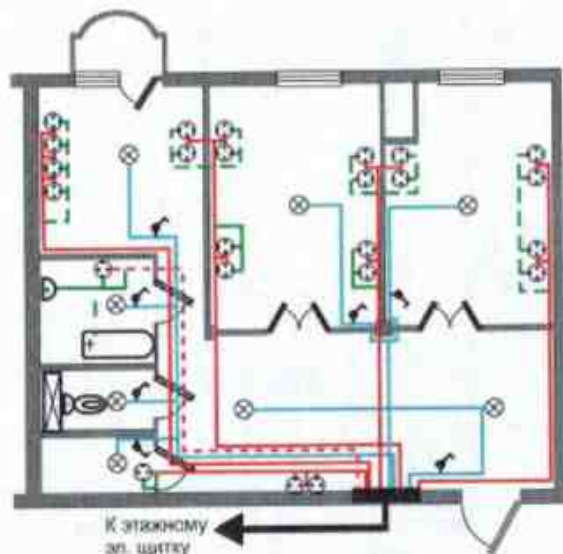


Рис. 6.15. Пример электроснабжения двухкомнатной квартиры повышенной комфортности

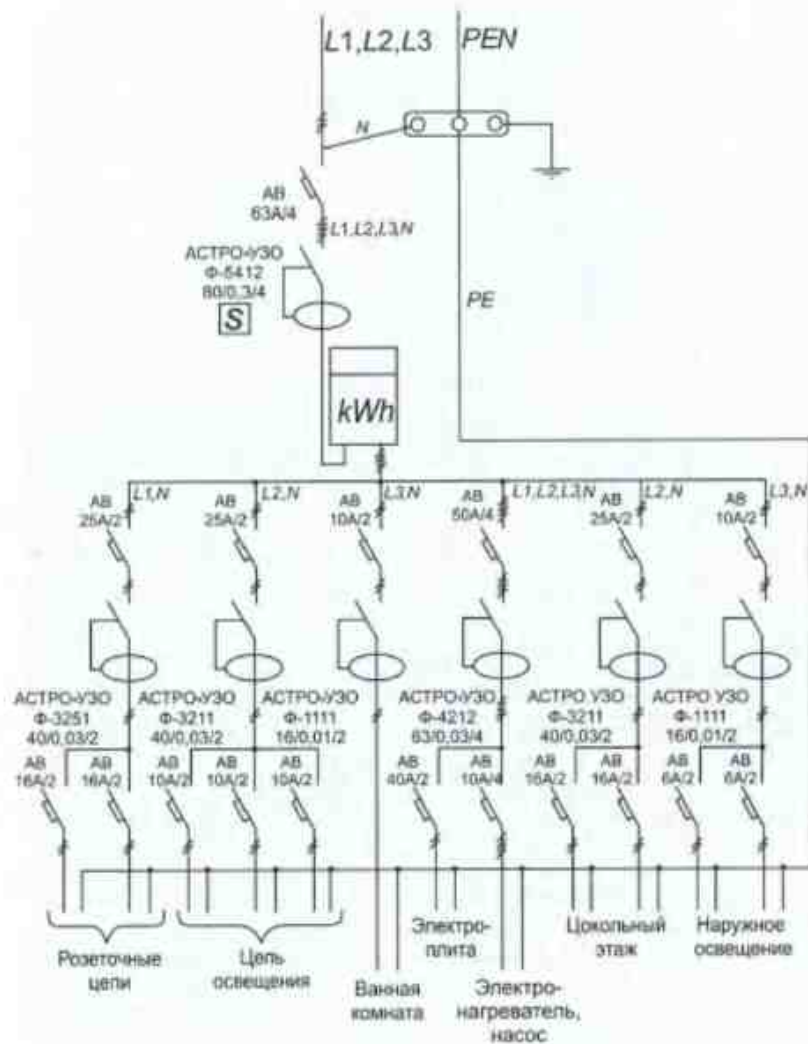


Рис. 6. 16. Схема электроснабжения коттеджа с системой TN-C-S (вариант 1)

Рекомендуется при однофазном вводе, выполнена полная защита всех групповых цепей

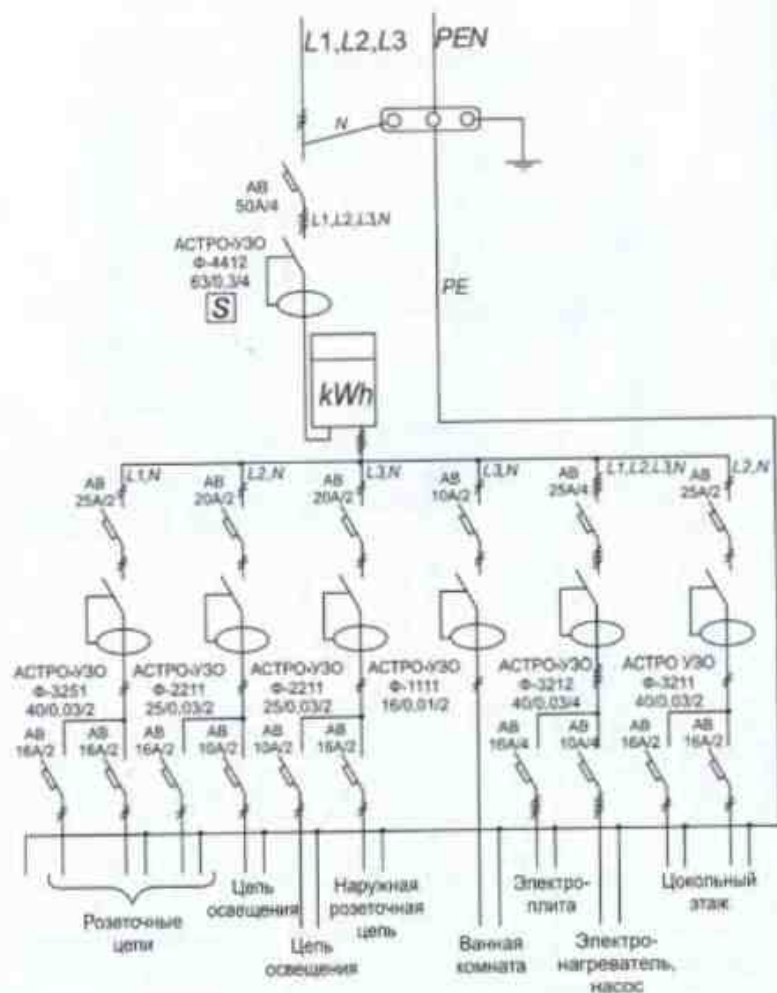


Рис. 6.17. Схема электроснабжения коттеджа с системой TN-C-S (вариант 2)

Рекомендуется при трехфазном вводе, применены двух- и четырехполюсные УЗО

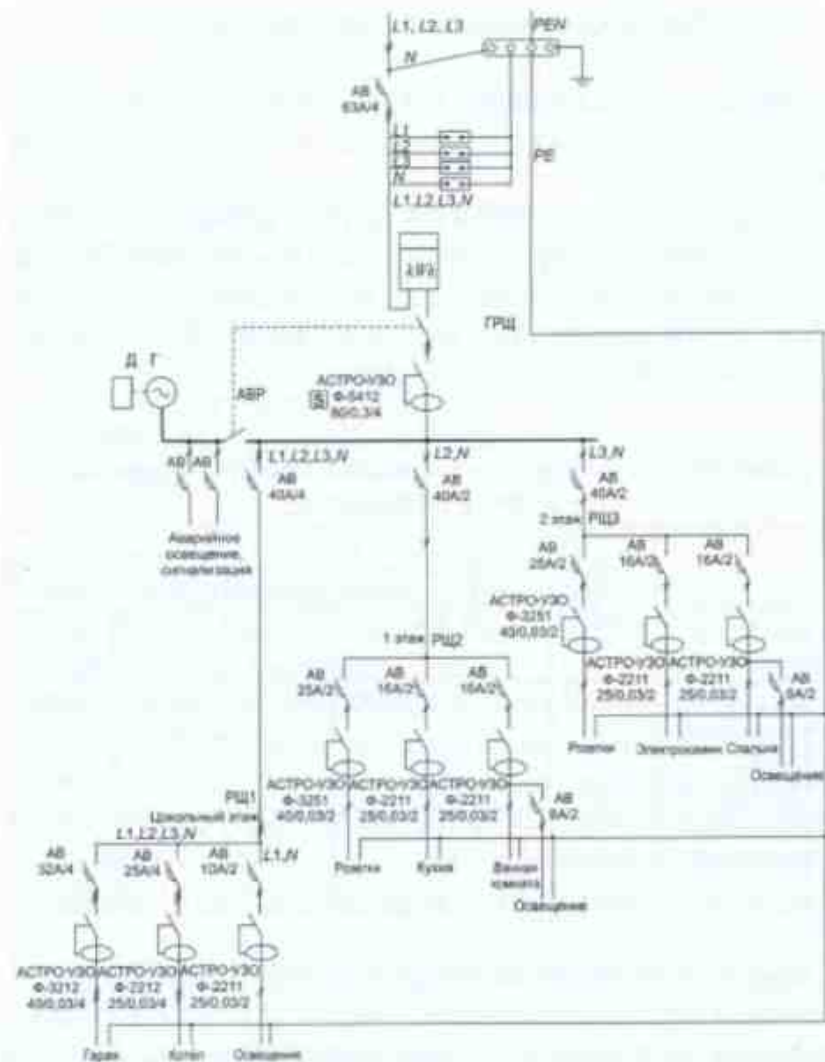


Рис. 6.18. Схема электроснабжения коттеджа с системой TN-C-S (вариант 3)

При большом количестве групповых цепей рекомендуется применение этажных распределительных щитов — РЩ1, РЩ2, РЩ3, а также применение защиты от грозовых перенапряжений — ОПН (например, АСТРО*ОПН-12/0,4)

6.8. УЗО как противопожарное средство

В разделе 2.1. настоящего издания приводились некоторые сведения по проблеме предупреждения возгораний и пожаров.

По данным ФГУ ВНИИПО МЧС РФ в период 1998-2002 гг. в нашей стране только по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок имело место ежегодно около 50 000 пожаров, при этом число погибших составляло примерно 3 000 человек в год — табл. 6.7.

Таблица 6.7

Статистика пожаров по электротехническим причинам в РФ за 1998-2003 гг.

	Годы					
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Количество пожаров, ед.	63 286	61 377	58 817	53 954	53 628	50 133
Прямой материальный ущерб, тыс. руб.	476 308	546 774	606 906	843 048	1 023 366	1 429 731
Количество погибших, чел.	3 023	3 105	3 198	3 234	3 302	3 172

Известно, что более трети всех пожаров имеют электротехническое происхождение. Причинами возгорания электропроводки могут являться — нагрев проводников (локальный или на протяженном участке) из-за перегрузки, искрение в месте плохого электрического контакта (в соединениях, на клеммах электроприборов и аппаратов), утечка тока по загрязнениям, пыли и т.п. с неизолированных участков цепи (в соединительных, ответвительных и проходных коробках, распределительных щитах, электрических аппаратах), нако-

пец, горение электрической дуги на каком-либо участке цепи, вызванное током КЗ.

Повреждения изоляции могут происходить по следующим причинам.

1. Электрические
 - перенапряжения
 - сверхтоки.
2. Механические
 - удар, нажим, сдавливание
 - изгиб
 - повреждение инородным телом.
3. Воздействие окружающей среды
 - влажность
 - тепло
 - солнечный свет
 - излучение (ультрафиолет)
 - старение
 - химическое воздействие.

Развитие КЗ из тока утечки происходит следующим образом. В месте микроповреждения изоляции между находящимися под напряжением проводниками начинает протекать крайне малый точечный ток. Под воздействием влажности, загрязнения, проникновения пыли с течением времени образуется проводящий мостик, по которому протекает ток утечки (трекинг).

По мере ухудшения состояния изоляции, начиная со значения тока примерно 1 мА, постепенно происходит обугливание проводящего канала, возникает так называемый «угольный мостик» и в диапазоне от 5 до 50 мА ток уже течет постоянно и постоянно растет. При значениях тока утечки 150 мА, что соответствует мощности 33 Вт, возникает реальная опасность возгорания за счет нагрева теплом, выделяемым в месте повреждения изоляции, различных легко воспламеняемых материалов.

В силу того, что под напряжением сопротивление «угольного мостика» ниже, чем в «холодном» состоянии, процесс носит лавинный характер, ток утечки быстро растет и при значениях 300 ... 500 мА в канале между зернами обугленного материала возникает тлеющий разряд, микродуга, в конечном счете, приводящие к загоранию электрической дуги.

Условия возгорания определяются так называемым треугольником горения (рис. 6.19), две вершины которого определяют наличие горючего вещества и окислителя — кислорода воздуха, а третья вершина задает условие воспламенения — нагрев материала до температуры самовоспламенения.

При возгорании твердого вещества, каковым является электрическая изоляция, часть его под действием высокой температуры в результате пиролиза переходит в газообразное состояние. Самостоятельное горение определенного объекта происходит в том случае, если пары вещества смешиваются с воздухом в соответствующей пропорции и объекту передается достаточная для достижения температуры воспламенения энергия (табл. 6.8, 6.9).



Рис. 6.19. Треугольник горения

В рассматриваемом случае возгорания в электроустановках энергия поступает к объекту — участку изоляции при протекании токов утечки, КЗ, электрических разрядов различных видов.

Горение электрической дуги имеет другую природу и не требует наличия окислителя.

Таблица 6.8

Температура самовоспламенения электротехнических материалов

Материал	Температура самовоспламенения, °С
Полиэтилен	340
Полистирол	360
Поливинилхлорид	390
Полиамид	420
Стекловолокно, ламинат	400
Фторопласт	600
Бумага	230
Гетинакс	480
Текстолит	500
Каучук натуральный	375
Резина	350

Таблица 6.9

Энергия самовоспламенения пылевоздушных смесей

Вид пыли	Минимальная энергия воспламенения, Дж	
	Пылевоздушная смесь	Отложения пыли
Мука	0,03	
Сахарная пудра	0,03	
Резина	0,01	
Полиэтилен	0,01	
Алюминий, магния	0,02	0,002
Древесина, древесный уголь	0,02	
Сера	0,015	
Красный фосфор	—	0,002

Для воспламенения изоляции необходимо действие мощности от 40 до 60 Вт (по данным ФГУ ВНИИПО МЧС РФ — от 20 Вт). Выделение такой мощности возможно при протекании токов утечки в месте повреждения изоляции или возникновении «горячей точки» в точке плохого контакта (незатянутые клеммы и т.п.).

На примере простой цепи (рис. 6.20) выполнен расчет мощности P_{yt} , выделяемой на сопротивлении утечки R_{yt} в месте дефекта изоляции при протекании тока утечки на землю.

При расчете, сумме сопротивлений $R_3 + R_{за} + R_n$ исходя из условия, что сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом, последовательно задавали значения 5, 10, 15 и 20 Ом. Результаты расчета представлены на графике (рис. 6.21).

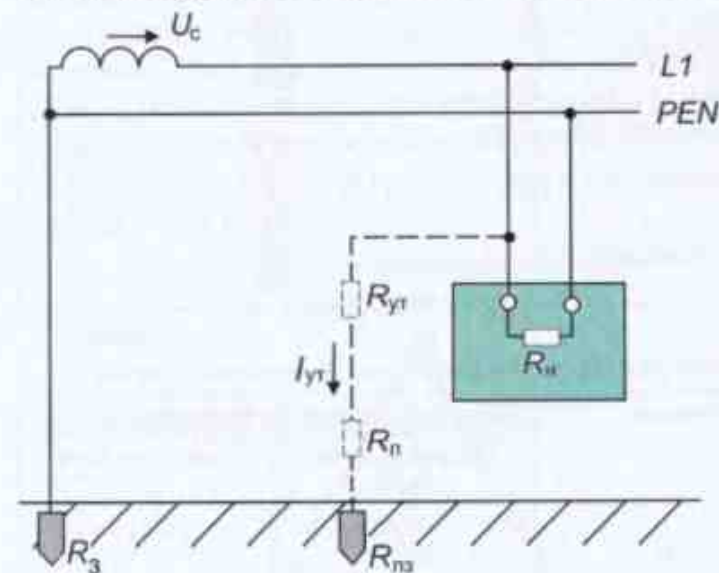


Рис. 6.20. Расчетная схема

U_c — напряжение сети, I_{yt} — ток утечки на землю, R_{yt} — сопротивление локального повреждения изоляции, R_3 — сопротивление заземления, R_n — переходное сопротивление на землю в месте повреждения изоляции, $R_{nз}$ — сопротивление локального заземлителя

$$P_{yt} = I_{yt}^2 \cdot R_{yt};$$

$$I_{yt} = \frac{U}{R_{yt} + R_3 + R_n + R_{nз}}$$

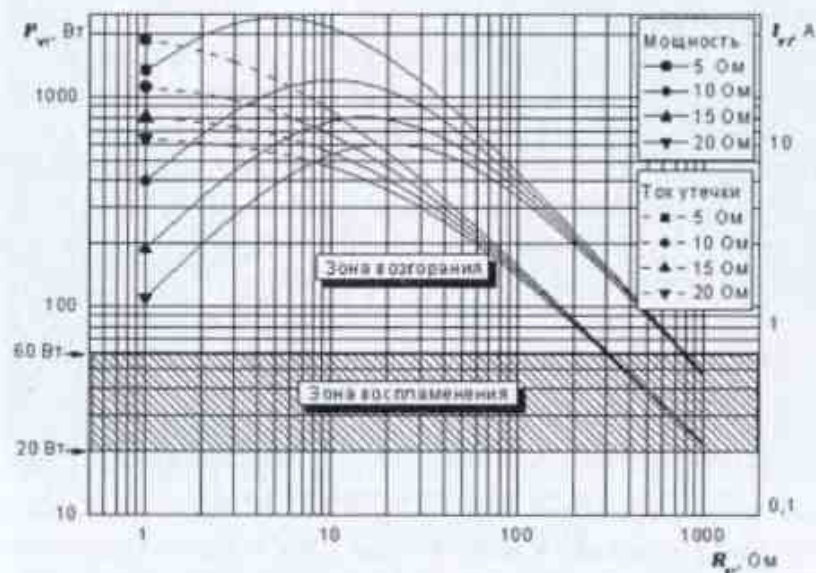


Рис. 6.21. График мощности возгорания и тока утечки

Из графика следует, что уже при снижении сопротивления в месте дефекта изоляции до уровня 720 ... 780 Ом возможно выделение мощности, достаточной для воспламенения.

По данным профессора А.А. Сошникова [52] (АлтГТУ) при исследованиях зажигающего действия токов утечки, проведенных в испытательной пожарной лаборатории управления пожарной охраны УВД Алтайского края, минимальный зажигающий ток утечки составил:

— для провода АППВС — 54 мА (11,8 Вт) при времени действия 39,3 с;

— для провода АПВ — 114 мА (25 Вт) при времени действия от 14,7 с до 48,5 с;

— для провода АПР — 68 мА (15 Вт) при времени действия от 101,3 с до 161,1 с.

Соответственно энергия, выделившаяся в месте повреждения изоляции, в каждом из приведенных случаев составила 463,7 Дж, 367—1 212,5 Дж и 1 519,5 — 2 416 Дж.

На рис. 6.22 представлен фрагмент экспериментального исследования процесса возгорания изоляции кабеля, выполненного в НМЦ ПЭУ МЭИ в 2006 году. В данном исследовании на специальной установке при напряжении 220 В создавалась точечная утечка тока через изоляцию кабеля разных марок, в частности, известной марки ЛУМ с изоляцией ПВХ. При протекании тока утечки возникал «угольный мостик», происходил его разогрев до критической температуры, загоралась дуга. Ток, напряжение на входе цепи и на нагрузке осциллографировались (рис. 6.23), также регистрировалась температура изоляции в месте утечки. Было определено установлено, что возгорание изоляции кабеля происходит после локального разогрева изоляции в точке утечки тока, последующего обугливания токового канала, электрического пробоя изоляции и возгорания электрической дуги. В частности, было отмечено, что в момент возгорания изоляции происходит выброс факела пламени, размером до 10 см. Под воздействием высокой температуры электрической дуги под оболочкой кабеля происходит процесс пиролиза материала изоляции с выделением горючих газов, их скоплением и последующим взрывным выбросом. Указанное явление частично объясняет высокую вероятность возникновения пожаров от локальных пробоев изоляции.

Основным назначением УЗО является защита человека от поражения при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

В основе действия защитного отключения, как электрозащитного и противопожарного средства, лежит принцип огра-



Рис. 6.22. Фрагмент эксперимента по исследованию возгорания изоляции кабеля

ничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока утечки.

Важным свойством УЗО является его способность осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих на объектах вследствие возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования.

На рис. 6.24 приведен график зависимости мощности, выделяемой в месте повреждения изоляции, от времени отключения УЗО с уставками по дифференциальному току 10, 30 и 300 мА.

Из графика следует, что даже УЗО с уставкой 300 мА достаточно быстро отключит дефектную цепь, в которой выделяется мощность 30 ... 60 Вт.

Из вышеизложенного следует, что массовое применение УЗО на всех без исключения объектах радикально изменит

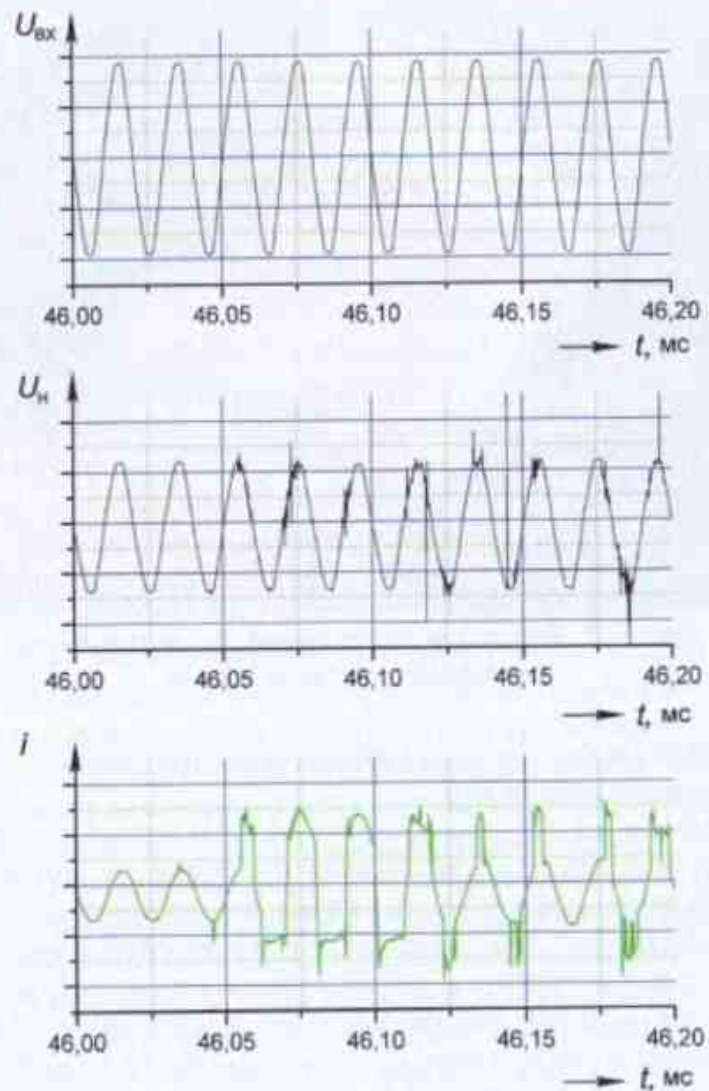


Рис. 6.23. Осциллограммы тока и напряжений на входе цепи и на нагрузке
Отчетливо виден момент пробоя изоляции и загорания дуги

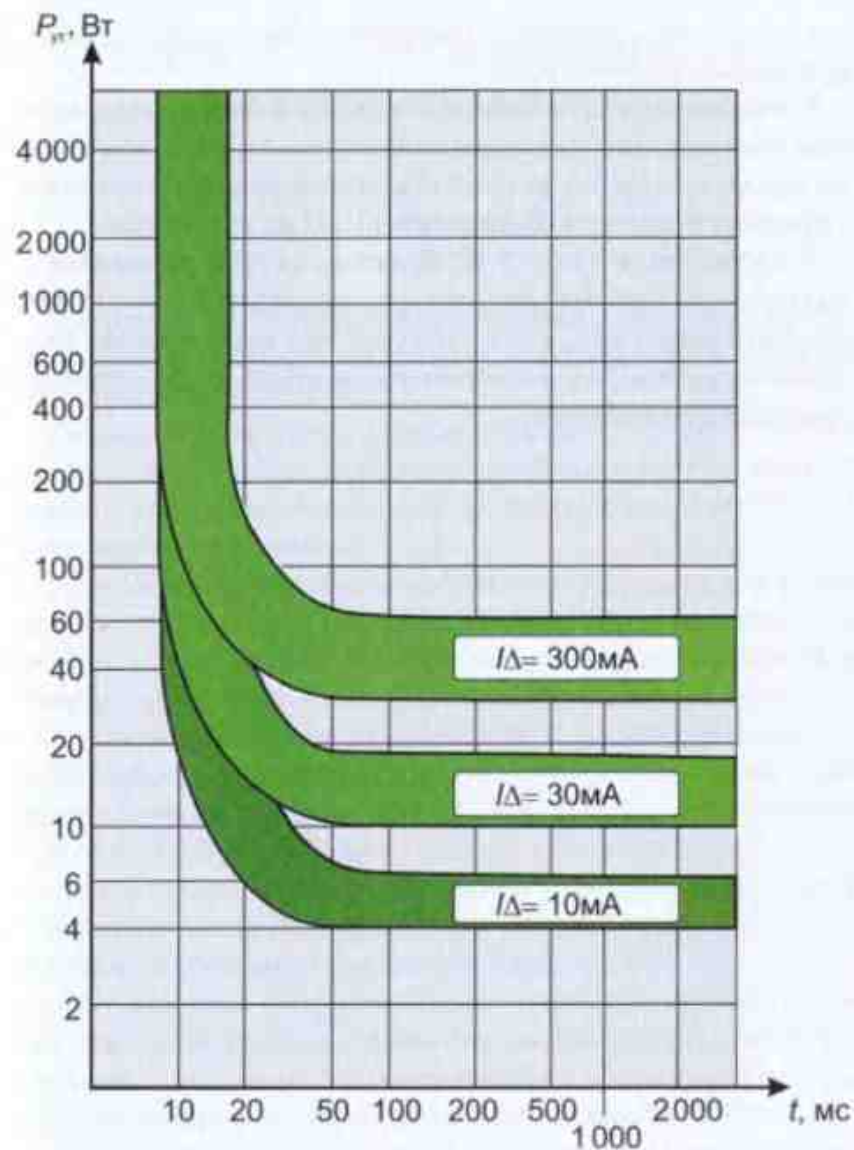


Рис. 6.24. График зависимости мощности, выделяемой в месте повреждения изоляции, от времени отключения УЗО с уставками по дифференциальному току 10, 30 и 300 мА

ситуацию с возникновением пожаров по электротехническим причинам в нашей стране.

По эффективности действия реальной альтернативы защитному отключению пока не существует, о чем однозначно свидетельствуют результаты научных исследований и успешная практика применения УЗО во всем мире.

В ближайшие годы УЗО будут являться основным и наиболее радикальным электротехническим и противопожарным средством, а это означает, что нормативная база должна развиваться и совершенствоваться, чтобы отвечать требованиям времени.

7. МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ УЗО В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

7.1. Монтаж УЗО

Монтаж УЗО должен осуществляться только квалифицированным персоналом, имеющим лицензию на выполнение электромонтажных работ.

Рекомендуется перед вводом электроустановки с УЗО в эксплуатацию провести замеры «фоновых» токов утечки на землю при одновременном или последовательном включении всех электроприемников.

Методика определения значения отключающего дифференциального тока — порога срабатывания УЗО, измерения тока утечки в зоне защиты УЗО, выявления дефектных цепей и электроприемников в электроустановке приведена ниже.

Проверка работоспособности УЗО в составе электроустановки здания осуществляется при помощи специального тестового прибора, например, типа АСТРО*ТЕСТ, разработанного ЗАО «АСТРО-УЗО» (глава 7.2.5).

В настоящее время в нашей стране в эксплуатации находятся как старые электроустановки с системой заземления *TN-C*, так и новые, с системами заземления *TN-C-S*, *TN-S*, *TT*.

При монтаже УЗО необходимо провести внимательное исследование системы заземления в конкретной электроустановке и выполнить четкое разделение нулевого рабочего и нулевого защитного проводников в зоне защиты УЗО.

Для правильного функционирования УЗО необходимо, чтобы в зоне защиты УЗО нулевой рабочий проводник не имел электрического контакта с заземленными элементами установки.

7.2. Контроль работоспособности УЗО в составе электроустановки

7.2.1. Схема измерений

Для проведения контроля работоспособности УЗО в составе электроустановки необходимо иметь следующие приборы:

- миллиамперметр переменного тока (0,1 ... 300 мА);
- переменный резистор (магазин сопротивлений) от 0,75 до 43 кОм 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 испытуемого УЗО;

R — максимальное значение переменного резистора.

Схема измерения приведена на рис. 7.1.

7.2.2. Определение порога срабатывания

(дифференциального отключающего тока — I_{Δ}) УЗО

Порядок действий при определении дифференциального отключающего тока — I_{Δ} УЗО следующий.

1. Отключить от установленного в электроустановке УЗО (рис. 7.1) цепь нагрузки с помощью двухполюсного автоматического выключателя AB_2 . В том случае, если в электроустановке применен однополюсный автоматический выключатель, при выполнении данного измерения для достижения необходимой точности необходимо отсоединить и нулевой рабочий проводник.

2. С помощью гибких проводников подключить к указанным на схеме клеммам УЗО измерительную цепь с переменным резистором и миллиамперметром. Переменный резистор первоначально должен находиться в положении максимального сопротивления.

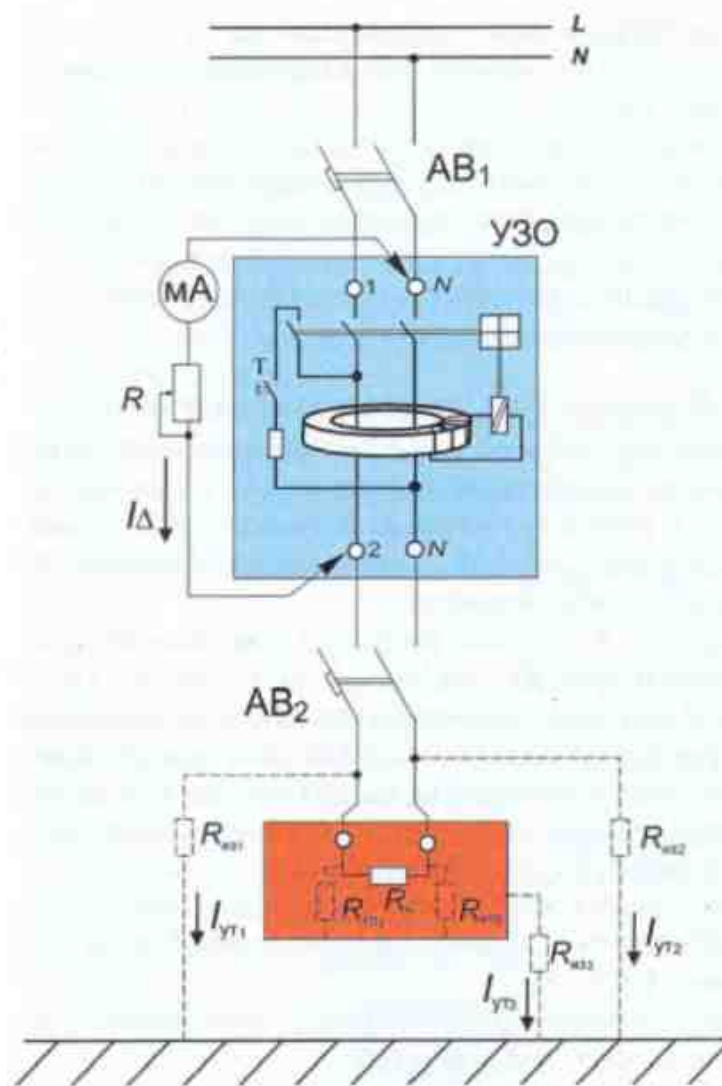


Рис. 7.1. Схема измерения

$R_{наг}$ — сопротивление нагрузки; $R_{исл.1,2}$ — сопротивления изоляции проводников и оборудования относительно земли

3. Плавно снижать сопротивление резистора.

4. Зафиксировать показание миллиамперметра в момент срабатывания УЗО.

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

В том случае, если значение I_{Δ} выходит за границы данного диапазона, УЗО подлежит замене.

7.2.3. Измерение тока утечки в зоне защиты УЗО

Измерение тока утечки по данной методике возможно только при условии применения электромеханических УЗО, например АСТРО*УЗО, поскольку электромеханические УЗО обладают высокой стабильностью ($\pm 5\%$) значения отключающего тока — I_{Δ} (порога срабатывания).

1. Подключить к УЗО цепь нагрузки с помощью автоматического выключателя АВ₂ (рис. 7.1).

2. С помощью гибких проводников подключить к указанным на схеме клеммам УЗО измерительную цепь с переменным резистором (магазином сопротивлений) и миллиамперметром. Переменный резистор первоначально должен находиться в положении максимального сопротивления.

3. Плавно снижать сопротивление переменного резистора.

4. Зафиксировать показание миллиамперметра в момент срабатывания УЗО — $I_{\text{отс}}$.

5. Зафиксированное значение тока $I_{\text{отс}}$ используется для расчета $I_{\text{ут}}$ по следующей формуле:

$$I_{\text{ут}} = I_{\Delta} - I_{\text{отс}}$$

где $I_{\text{ут}}$ — ток утечки в зоне защиты УЗО;

I_{Δ} — значение отключающего тока данного УЗО, полученное по методике п. 7.2.2;

$I_{\text{отс}}$ — зафиксированное миллиамперметром значение тока.

Значение $I_{\text{ут}}$ является искомым «фоновым» током утечки данной электроустановки.

Если определенное по данной методике значение тока утечки $I_{\text{ут}}$ в зоне защиты УЗО превышает $1/3$ номинального отключающего дифференциального тока УЗО, то это означает, что в зоне защиты имеется дефектная цепь.

Для обнаружения дефектных цепей электроустановки проводят измерение тока утечки по вышеизложенной методике с последовательным отключением электрических цепей и электроприемников.

После устранения дефекта изоляции, являющегося причиной повышенного тока утечки, необходимо провести повторное измерение тока утечки в электроустановке.

7.2.4. Устройство измерения дифференциального тока АСТРО*ИД

ЗАО «АСТРО-УЗО» совместно с Московским энергетическим институтом — МЭИ выпускает устройство АСТРО*ИД, предназначенное для непосредственного измерения дифференциального тока (тока утечки на землю) в одно- и трехфазных цепях переменного тока, находящихся под номинальным напряжением и при включенных электроприемниках (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Устройство измерения дифференциального тока АСТРО*ИД

Устройство устанавливается на вводе электроустановки последовательно в цепь главного выключателя и позволяет определить суммарный ток утечки электроустановки под полной токовой нагрузкой в различных режимах работы.

На цифровом индикаторе устройства отображается текущее значение тока утечки, что позволяет:

- оценивать качество проведенных электромонтажных работ;
- контролировать состояние изоляции;
- определять правильность выбора уставки (номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n}$) УЗО;
- выявлять дефектные цепи или электроприемники с недопустимо низким сопротивлением изоляции;
- при использовании дополнительного магазина сопротивлений определять порог срабатывания (дифференциальный отключающий ток I_{Δ}) УЗО.

Технические параметры устройства АСТРО*1Δ приведены в табл. 7.1, габаритные размеры — на рис. 7.3, схемы подключения — на рис. 7.4.

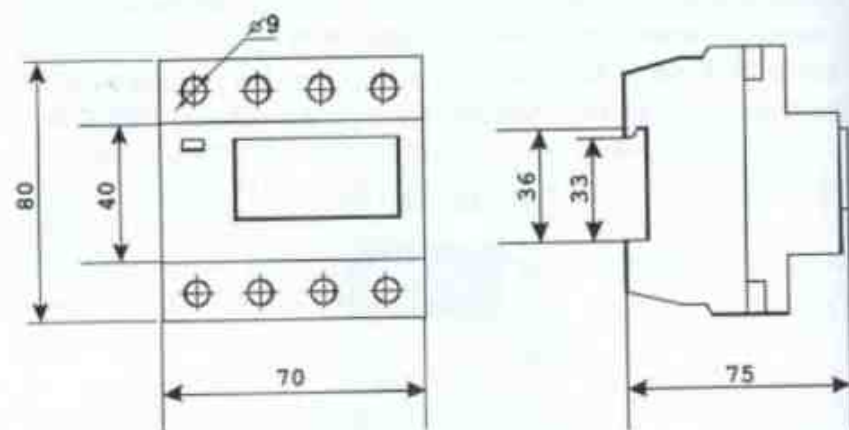


Рис. 7.3. Габаритные размеры устройства АСТРО*1Δ

Таблица 7.1

Технические параметры устройства АСТРО*1Δ

№	Наименование	Номинальное значение
1	Номинальное рабочее напряжение U_n , В	220/380
2	Номинальный ток нагрузки I_n , А	40
3	Диапазон измеряемого дифференциального тока I_{Δ} , мА	0 ... 199,9
4	Погрешность измерения, %	± 5
5	Диапазон рабочих температур, °С	-5 ... +40
6	Потребляемая мощность, не более, Вт	2
7	Максимальное сечение подключаемых проводников, мм ²	25

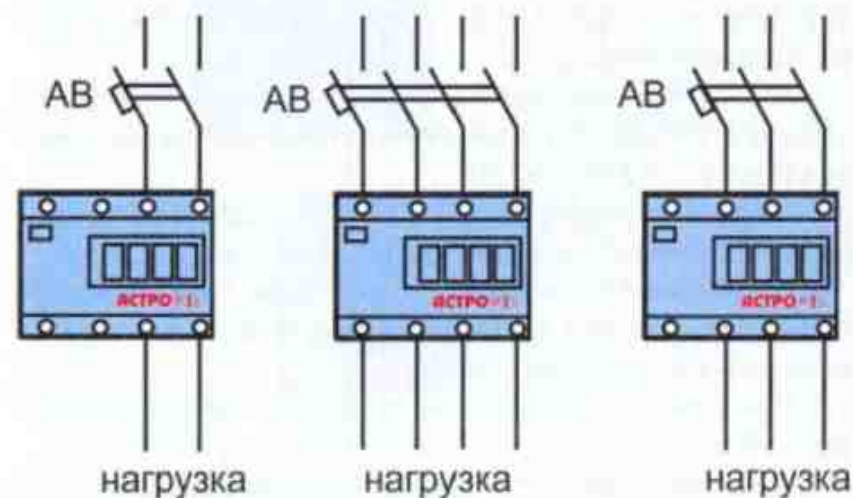


Рис. 7.4. Схемы подключения устройства АСТРО*1Δ в зависимости от типа сети

В соответствии с п. 7.1.83 с ПУЭ (7-е изд.) [14] суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить $1/3$ номинального отключающего дифференциального тока — $I_{\Delta n}$ УЗО.

В случае превышения током утечки значения $1/3 I_{\Delta n}$ необходимо путем последовательного отключения электроприемников и групповых цепей выявить место дефекта изоляции.

Возможен случай, когда в какой-либо конкретной электроустановке суммарный фоновый ток утечки слишком велик и невозможно добиться его снижения — сеть сильно разветвлена и имеет большую общую протяженность, эксплуатируется в условиях повышенной влажности и т.д. В этом случае необходимо заменить установленное УЗО на УЗО с более высоким номинальным отключающим дифференциальным током (например, УЗО с $I_{\Delta n} = 30$ мА заменить на УЗО с $I_{\Delta n} = 100$ мА). Если по условиям электробезопасности замена недопустима, то рекомендуется провести разделение сети и установить УЗО на отходящие цепи.

После выполнения указанных действий провести повторные замеры и убедиться в соответствии полученных значений условиям п. 7.1.83 ПУЭ [14].

С помощью устройства АСТРО*ИД можно проводить измерение отключающего дифференциального тока — $I_{\Delta n}$ УЗО.

Для этого необходимо собрать схему (рис. 7.5), где R — магазин сопротивлений (см. п. 7.2.1), и выполнить измерения в следующей последовательности:

1. Отключить от УЗО цепь нагрузки, в том числе и нулевой рабочий проводник.
2. С помощью гибких проводников подключить переменный резистор R .
3. Плавно снижая сопротивление резистора, зафиксировать показания АСТРО*ИД в момент срабатывания УЗО.

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

В том случае, если значение I_{Δ} выходит за границы данного диапазона, УЗО подлежит замене.

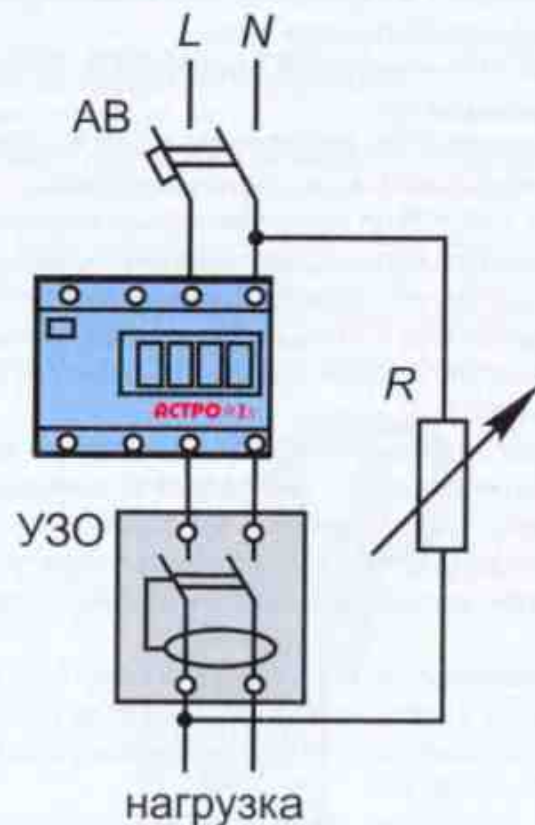


Рис. 7.5. Схема измерения отключающего дифференциального тока УЗО с помощью устройства АСТРО*ИД

7.2.5. Устройство контроля исправности УЗО — АСТРО*ТЕСТ

Для проведения контроля работоспособности УЗО в схеме электроустановки здания рекомендуется использовать специальное устройство — АСТРО*ТЕСТ.

Прибор АСТРО*ТЕСТ позволяет выполнять оперативный контроль ряда функциональных характеристик УЗО:

- срабатывания УЗО при включении номинального отключающего дифференциального тока;

- времени отключения при номинальном отключающем дифференциальном токе;

- несрабатывания при дифференциальном токе, равном или меньшем номинального неотключающего тока.

Прибор АСТРО*ТЕСТ позволяет также осуществлять проверку ряда электробезопасных мероприятий в электроустановке в целом — целостности защитного проводника PE, правильности выбора уставок УЗО, селективности действия УЗО при многоступенчатой системе защиты, надежности клеммных соединений и т.д.

С помощью прибора АСТРО*ТЕСТ создается цепь протекания дифференциального тока заданного значения, равного номинальному отключающему дифференциальному току данного экземпляра УЗО (соответственно маркировке), в течение времени, установленного регулятором в диапазоне от 10 до 250 мс.

При проведении испытаний прибором АСТРО*ТЕСТ обеспечивается полная электробезопасность персонала благодаря ограничению по времени протекания испытательного тока — не более 250 мс.

Технические параметры прибора АСТРО*ТЕСТ приведены в табл. 7.2, внешний вид — на рис. 7.6, габаритные размеры — на рис. 7.7, схемы подключения — на рис. 7.8.

Таблица 7.2

Технические параметры прибора АСТРО*ТЕСТ

№	Наименование	Номинальное значение
1	Номинальное рабочее напряжение U_n , В	220
2	Длительность протекания испытательного тока T , мс	10 ... 250
3	Установка номинального неотключающего дифференциального тока $I_{\Delta n0}$, mA	5, 15, 50, 150
4	Установка номинального отключающего синусоидального дифференциального тока $I_{\Delta n}$, mA (тип AC)	10, 30, 100, 300
5	Установка номинального отключающего пульсирующего дифференциального тока $I_{\Delta n}$, mA (тип A)	10, 30, 100, 300
6	Погрешность установки отключающего дифференциального тока, %	± 5
7	Диапазон рабочих температур, °C	-25 ... 40



Рис. 7.6. Прибор АСТРО*ТЕСТ

На лицевой панели прибора АСТРО*ТЕСТ размещены переключатель номинального отключающего дифференциального тока «УСТАВКА», регулятор длительности импульса и световые индикаторы:

1. «ПИТАНИЕ», сигнализирующий о наличии напряжения при подключении к контролируемому УЗО;
2. «ИМПУЛЬС», индицирующий длительность подачи тестового импульса на УЗО.

Питание прибора производится через щупы от сети, в которую включено контролируемое УЗО.

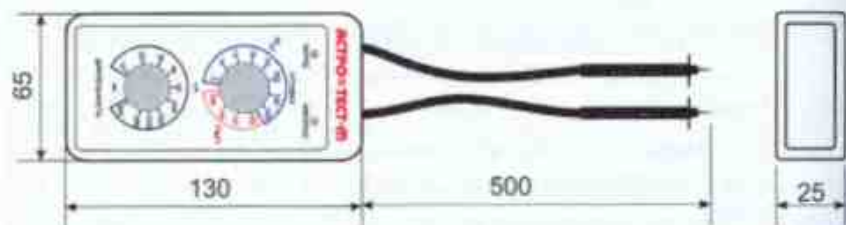


Рис. 7.7. Габаритные размеры прибора АСТРО*ТЕСТ

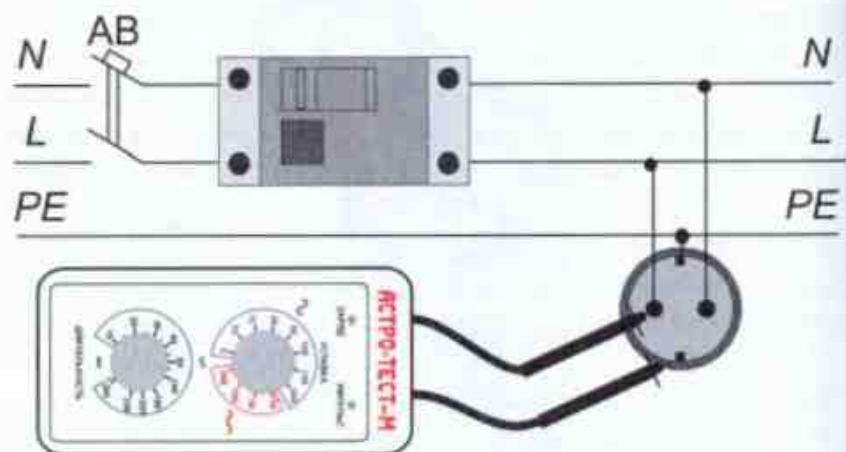


Рис. 7.8. Схема подключения прибора АСТРО*ТЕСТ для контроля двухполюсного УЗО

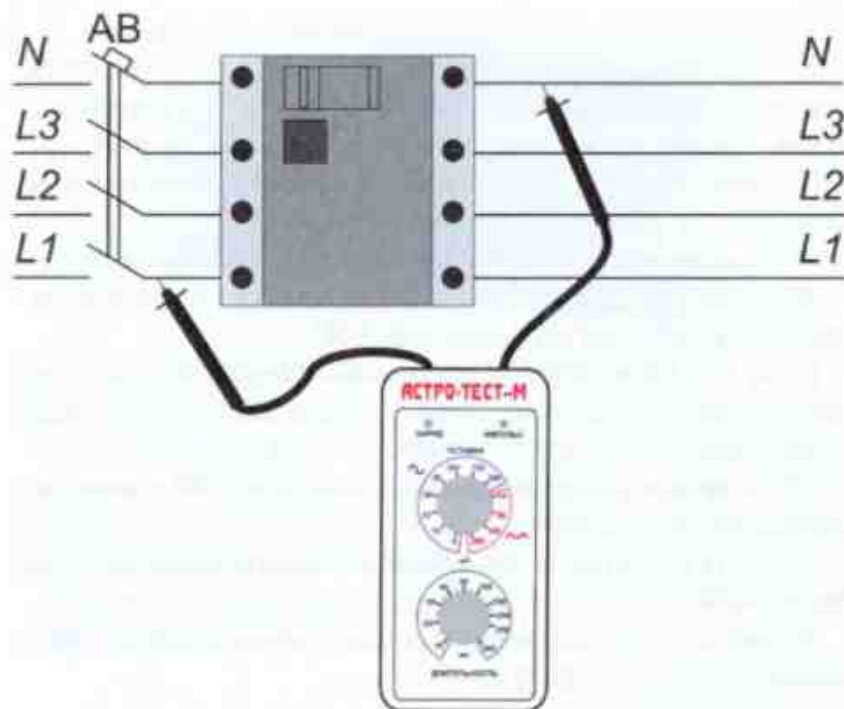


Рис. 7.9. Схема подключения прибора АСТРО*ТЕСТ для контроля четырехполюсного УЗО

Порядок работы с прибором АСТРО*ТЕСТ следующий.

1) Установить переключатель «УСТАВКА» в положение, соответствующее половинному значению номинального отключающего дифференциального тока контролируемого УЗО типа АС, регулятор длительности в положение максимальной длительности импульса.

2) Подключить прибор согласно вышеназванным схемам. При этом на приборе должен загореться зеленый светодиод «ПИТАНИЕ». Через 4 секунды загорается красный светодиод «ИМПУЛЬС», что означает протекание в цепи заданного дифференциального тока.

3) Контролируемое УЗО не должно отключиться.

4) Установить переключатель «УСТАВКА» в положение, соответствующее номинальному значению отключающего дифференциального тока УЗО типов АС или А, регулятор длительности импульса в положение, соответствующее минимальному значению времени.

5) Подключить прибор согласно вышеприведенным схемам.

6) Последовательно увеличивая значение длительности импульса, добиться срабатывания УЗО.

Если УЗО не срабатывает при максимальном значении длительности импульса, возможно два варианта его неисправности:

1) отключающий дифференциальный ток УЗО превышает номинальное значение;

2) время отключения при номинальном отключающем токе более 0,2 сек.

В этом случае констатируется факт неисправности УЗО и необходимости его замены.

7.2.6. Прибор контроля УЗО АСТРО*ПРОФИ

Прибор контроля УЗО АСТРО*ПРОФИ, выпускаемый ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ, предназначен для проведения испытаний функциональных характеристик УЗО и замера некоторых параметров электроустановки.

Внешний вид прибора показан на рис. 7.10.

Прибор позволяет производить измерения следующих параметров:

- отключающий дифференциальный ток УЗО типов А и АС;
- время отключения УЗО при одно-, двух- и пятикратном номинальном отключающем дифференциальном токе;
- частоту и напряжение сети;
- сопротивление петли «фаза-ноль»;
- ток КЗ «фаза-ноль»;
- малые сопротивления.



Рис. 7.10. Прибор АСТРО*ПРОФИ

Прибор выполнен на микропроцессорной базе. Информация о результатах измерения и расчетов выводится на жидкокристаллический индикатор и, дополнительно, на компьютер через последовательный порт RS-232.

Технические параметры прибора АСТРО*ПРОФИ приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Технические параметры прибора АСТРО*ПРОФИ

№	Наименование	Номинальное значение
1	Напряжение сети, В	220
2	Ток, потребляемый от сети, не более, А	2,5
3	Встроенный источник напряжения (аккумулятор), В	6
4	Установка номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n}$, mA	10, 30, 100, 300
5	Установка угла задержки тока φ , град («+» и «-»)	0, 90, 135
6	Установка номинального отключающего дифференциального тока с кратностью, раз	1, 2, 5, 1,25
7	Диапазон измерения напряжения сети, В	160 ... 260
8	Диапазон измерения частоты сети, Гц	45,00 ... 55,00
9	Диапазон измерения времени отключения, мс	0,1 ... 2 000
10	Диапазон измерения сопротивления петли «фаза-ноль», Ом	0,4 ... 22,0
11	Диапазон измерения тока КЗ (рассчитывается по формуле $I_{КЗ} = U_{ном} / R_{ном}$), А	10 ... 550
12	Диапазон измерения малых сопротивлений, Ом	0,1 ... 199,9
13	Габаритные размеры, мм	200 x 280 x 80

7.3. Типичные ошибки при монтаже УЗО

1. Наиболее распространенной ошибкой при монтаже УЗО является подключение к УЗО нагрузки, в цепи которой имеется соединение нулевого рабочего проводника N с открытыми проводящими частями электроустановки или с нулевым защитным проводником PE (рис. 7.11. а). В этом случае довольно высока вероятность «ложного» срабатывания УЗО.

2. При монтаже УЗО или проведении модернизации распределительных щитков с применением УЗО возможны следующие ошибки:

— объединение нулевых рабочих проводников N различных УЗО в зоне их защиты — в этом случае ток нагрузки является дифференциальным для обоих УЗО и одно из них или оба срабатывают (рис. 7.11. б);

— подключение нагрузки к нулевому рабочему проводнику N до УЗО — в этом случае ток нагрузки будет дифференциальным для УЗО и оно сработает (рис. 7.11. в);

— подключение нагрузки к нулевому рабочему проводнику N другого УЗО — при этом ток нагрузки является дифференциальным для обоих УЗО и одно из них или оба срабатывают (рис. 7.11. г).

3. При монтаже розеток или присоединительных и ответвительных коробок электроустановки в зоне защиты УЗО случайное соединение нулевого рабочего проводника N с защитным проводником PE вызывает срабатывание УЗО (рис. 7.11. д):

— при подключении нагрузки к розетке (случай аналогичен п.1);

— при подключении любой нагрузки вне зоны защиты УЗО (по перемычке течет дифференциальный ток).

4. При подключении четырехполюсных УЗО возможно ошибочное подключение на его клеммы одноименных фаз, что не влияет на работу однофазных потребителей (рис. 7.11. е).

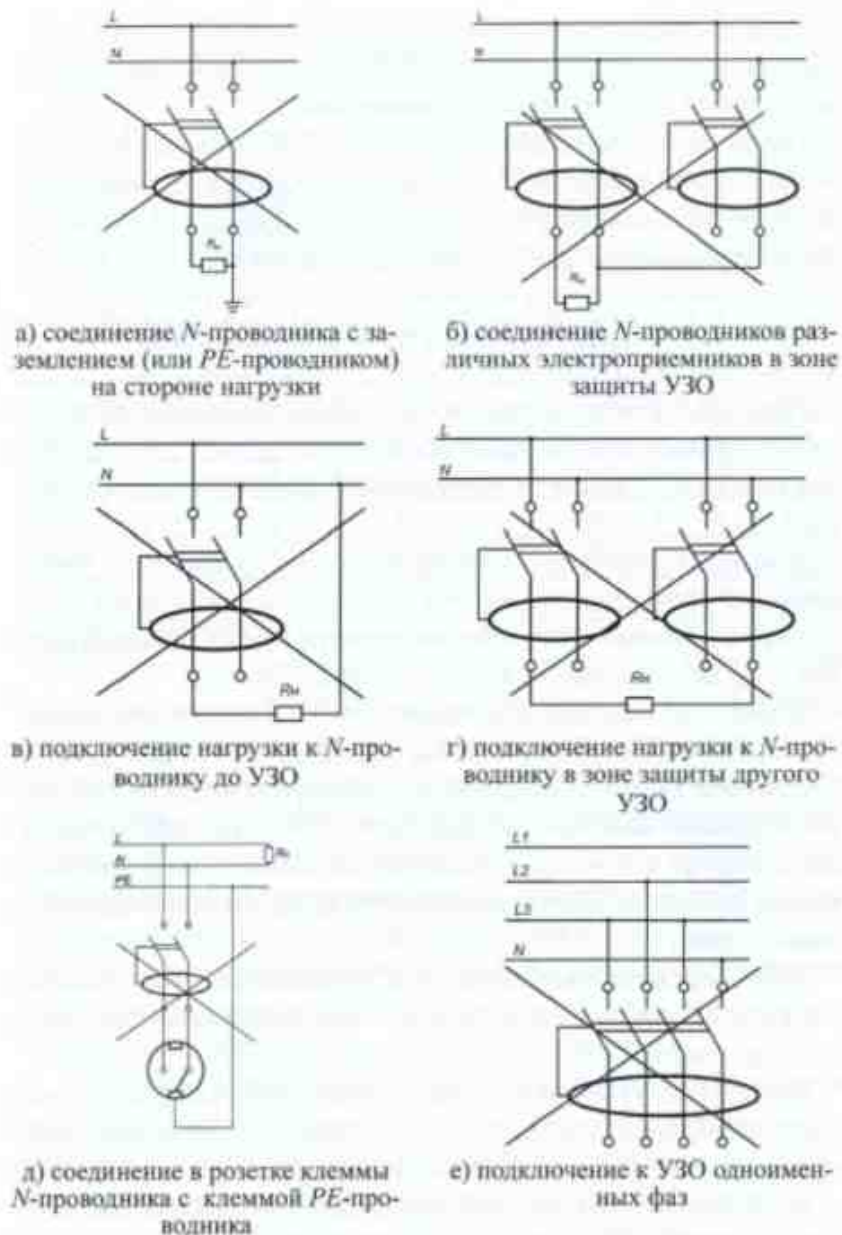


Рис. 7.11. Типичные ошибки при монтаже УЗО

Карта эксплуатационного контроля

КАРТА КОНТРОЛЯ УЗО№ _____												
Адрес:												
Ф.И.О. ответственного за электроустановку:												
Дата выдачи и № сертификата на электроустановку:												
Результат контроля:												
	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
Ответственный за электроустановку												
Проверяющий												

В этом случае проверка работоспособности УЗО с помощью кнопки «Тест» недостоверна, поскольку несрабатывание УЗО не означает, что оно неработоспособно.

При подключении четырехполосных УЗО в однофазную сеть, в некоторых случаях, когда не принимается во внимание схема внутренних соединений УЗО (см. раздел 4.8), также возможно несрабатывание устройства при нажатии кнопки «Тест».

7.4. Эксплуатационный контроль УЗО

При сдаче электроустановки в эксплуатацию производитель работ должен проинструктировать владельца электроустановки о необходимости ежемесячных проверок исправности УЗО.

Владелец электроустановки обязан осуществлять ежемесячную проверку исправности УЗО.

Периодическая ежемесячная проверка работоспособности УЗО осуществляется нажатием кнопки «Тест».

Поскольку наличие и исправность УЗО на объекте косвенно определяют страховой риск, страховые компании должны учитывать ведение владельцем электроустановки объекта постоянного контроля исправности УЗО. Для этой цели целесообразно введение в практику органами Энергонадзора Карты эксплуатационного контроля, образец которой приведен ниже (табл. 7.4).

Карта должна находиться в доступном для пользователя электроустановки и инспекторов Энергонадзора и страховых агентов месте.

Если в РИЦ установлено два и более УЗО, следует промаркировать их и заполнить соответствующую строку Карты при сдаче электроустановки здания в эксплуатацию.

В Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей [58], введенных в действие 1 июля 2003 г. взамен Правил эксплуатации электроустановок потребителей

5-го издания 1999 г., имеется указание (п. 2.7.19): «При использовании в электроустановке устройств защитного отключения — УЗО должна осуществляться их проверка в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя и нормами испытаний электрооборудования».

УЗО должно быть опломбировано и должны быть сделаны записи в паспорт устройства и оперативный журнал.

Периодическая ежемесячная проверка работоспособности УЗО осуществляется нажатием кнопки «Тест».

Проверка проводится в следующем порядке:

- определить последовательность проверки УЗО при наличии в схеме двух и более устройств, отметить номер контролируемого УЗО в Карте эксплуатационного контроля;
- подать рабочее напряжение на электроустановку;
- нажать кнопку «Тест» — немедленное срабатывание УЗО (отключение защищаемой устройством цепи) означает, что

УЗО исправно, если цепь не отключилась, следует вызвать специалиста-электрика для замены УЗО;

— для восстановления питания электроустановки взвести рукоятку УЗО в положение «I» — «включено»;

— сделать запись в соответствующую графу Карты контроля УЗО (табл. 7.4).

7.5. Анализ причин срабатывания УЗО и алгоритм поиска неисправности в электроустановке

При срабатывании УЗО необходимо определить вид неисправности в электроустановке. Порядок действий обслуживающего электроустановку персонала в этом случае следующий.

Взвести УЗО. Если УЗО взводится, то это значит, что в электроустановке имела место утечка тока на землю, вызванная нестабильным или кратковременным нарушением изоляции. В этом случае необходимо провести общий контроль состояния изоляции. Проверить работоспособность УЗО нажатием кнопки «Тест».

Если УЗО взводится и мгновенно срабатывает, то это означает одно из двух:

1. В электроустановке имеет место дефект изоляции какого-либо электроприемника, электропроводки, монтажных проводников электрошита;

2. УЗО неисправно.

В этом случае необходимо произвести следующие действия:

1. Отключить все автоматические выключатели групповых цепей, защищаемых УЗО.

Если автоматические выключатели однополюсные или трехполюсные и не размыкают нулевые рабочие проводники, то с учетом того, что утечка тока возможна и с нулевого рабо-

чего проводника, для обнаружения дефектной цепи возможно понадобится выполнить отсоединение всех нулевых рабочих проводников от сборной шины.

2. Взвести УЗО.

3. Если УЗО взводится, проверить работоспособность УЗО нажатием кнопки «Тест». Мгновенное отключение УЗО означает, что оно исправно, но в защищаемой цепи имеется утечка тока.

4. Последовательно включать автоматические выключатели.

5. Если УЗО срабатывает при включении определенного автоматического выключателя, то это означает, что в цепи данного выключателя имеется повреждение изоляции.

6. Отключить или отсоединить все электроприемники в цепи выключателя, при включении которого сработало УЗО.

7. Взвести УЗО.

8. Если УЗО взводится, то это означает, что неисправность изоляции в каком-то из электроприемников.

9. Последовательно включать каждый электроприемник данной цепи.

10. УЗО срабатывает при включении определенного электроприемника.

11. Отключить дефектный электроприемник.

12. Подключить все электроприемники (кроме дефектного), взвести УЗО, убедиться, что УЗО не срабатывает.

Проверить работоспособность УЗО нажатием кнопки «Тест».

Примечания:

По п. 8. Если УЗО не взводится при всех отключенных электроприемниках данной цепи, то это означает, что дефектна изоляция электропроводки.

По п. 3. Если УЗО не взводится, то это означает, что имеет место неисправность изоляции монтажных проводников электрошита или неисправность УЗО.

7.6. Порядок контроля УЗО при сертификации электроустановок

7.6.1. Проверка технической документации на УЗО

УЗО, применяемые в электроустановках зданий на объектах Российской Федерации, должны отвечать требованиям действующих стандартов и в обязательном порядке пройти сертификационные испытания по утвержденной Госэнергонадзором и Госстандартом программе в аккредитованном по УЗО сертификационном центре.

Это означает, что все УЗО, применяемые в электроустановке здания, должны иметь российский сертификат соответствия с указанием его срока действия. Сертификат выдается на определенный срок, обычно 3 года, однако предприятие-изготовитель обязано ежегодно проходить регламентированный инспекционный контроль в сертификационном центре, выдавшем сертификат на изделие, с оформлением соответствующего протокола.

В случае невыполнения условий, лежащих в основе выдачи сертификата, он отменяется (приостанавливается) органом по сертификации или центральным органом по сертификации.

При проверке технической документации на УЗО необходимо обратить внимание на достоверность сертификата и его содержание — соответствие требованиям нормативных документов (обязательно ГОСТ Р 50807-95, ГОСТ Р 51326.1-99, ГОСТ Р 51326.1-99 [29–31]), основание выдачи (протокол испытаний, отчет об инспекционном контроле), перечень модификаций, на которые распространяется его действие, адреса изготовителя и продавца, № контракта и объем партии (для импортных устройств).

УЗО должны отвечать требованиям НПБ 243-97 [41], пройти сертификационные испытания во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обо-

роны МЧС России (ВНИИПО), иметь сертификат пожарной безопасности.

Комплект технической документации на УЗО должен включать в себя все необходимые документы (см. раздел 4.12).

При проверке паспорта на устройство (руководства по эксплуатации) необходимо обратить внимание на наличие указания о способе подключения устройства.

УЗО, функционально независимые от напряжения питания, обычно инвариантны (независящие) по стороне подключения к устройству сети и нагрузки.

УЗО, функционально зависящие от напряжения питания, должны иметь четкую соответствующую маркировку сторон подключения: «сеть», «нагрузка».

После пуска электроустановки в эксплуатацию в паспорте УЗО (руководстве по эксплуатации) делается соответствующая отметка.

Паспорт УЗО должен храниться у ответственного за эксплуатацию электроустановки лица для обоснования в случае неисправности УЗО претензий к заводу-производителю по выполнению последним гарантийных обязательств.

Отсутствие каких-либо из вышеперечисленных документов свидетельствует о неустановленном происхождении устройства.

Учитывая особое назначение УЗО — защиту жизни и имущества граждан, запрещается применение устройств неустановленного происхождения, а электроустановка, оборудованная подобными устройствами, не может быть сертифицирована и принята в эксплуатацию.

7.6.2. Проверка правильности выбора места установки и параметров УЗО в схеме электроустановки

Проверка должна включать в себя:

- обоснованность выбора зоны защиты УЗО;
- соответствие типа и параметров УЗО расчетным;

— соответствие номинального тока устройств защиты от сверхтоков номинальному току нагрузки УЗО (см. гл. 10).

7.6.3. Проверка правильности монтажа УЗО

Проверка правильности монтажа включает в себя:

- проверку соответствия монтажа утвержденной схеме электроустановки;
- проверку фазировки и маркировки подключенных к УЗО проводников (фазных и нулевого);
- проверку отсутствия соединения нулевого рабочего проводника N в зоне защиты УЗО с нулевым защитным проводником PE , а также с заземленными корпусами электрооборудования и повторным заземлением;
- контроль надежности затяжки контактных зажимов УЗО и аппаратов защиты от сверхтоков.

Особое внимание следует обратить на то, что в старых электроустановках с системой заземления $TN-C$ (имеющих на вводе в здание PEN -проводник), защитный проводник PE , дополнительно проложенный в электроустановке, подключается во ВРУ или в групповом щитке к совмещенному PEN -проводнику (перед головным УЗО).

Типовые схемы подключения УЗО в электроустановках с различными системами заземления приведены в разделе 6.7.

7.6.4. Проверка работоспособности УЗО

Проверка работоспособности УЗО состоит из:

- проверки фиксации органа управления УЗО в двух четко различающихся положениях: «Вкл» и «Откл»;
- проверки при включенном рабочем напряжении путем нажатия кнопки «Тест» (пятикратно);
- замера отключающего дифференциального тока УЗО специальным прибором или, например, методом, описанным выше;

— замера «фонового» тока утечки электроустановки в зоне защиты каждого УЗО специальным прибором или, например, методом, описанным выше, и сопоставление его с номинальным отключающим дифференциальным током (уставкой срабатывания) УЗО;

— проверки работоспособности всей системы электрзащиты на базе УЗО в электроустановке в целом путем имитации тока утечки в вероятных местах контакта человека с токопроводящими частями электрооборудования. Проверка осуществляется с помощью специального устройства АСТРО*ТЕСТ, создающего цепь протекания заданного значения дифференциального тока в ограниченное время, с соблюдением соответствующих мер безопасности.

7.6.5. Меры безопасности

Испытания УЗО должен проводить только квалифицированный персонал, прошедший обучение и аттестацию с присвоением группы по электробезопасности не ниже III при работе в электроустановках до 1 кВ с соблюдением требований ПТЭ и ПТБ.

7.6.6. Документальное оформление контроля УЗО (протокол)

Сертификационная проверка электроустановки здания оформляется официальным протоколом.

Результаты контроля УЗО в составе электроустановки заносятся в протокол испытаний УЗО, образец которого приводится (табл. 7.5).

Протокол испытаний УЗО

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ УЗО № _____

1.1. Способ и место установки	<i>щитовое, УЗО-вилка, УЗО-розетка</i>
1.2. Число полюсов и число токоведущих проводников	<i>2, 4</i>
1.3. Номинальное напряжение U_n , В	<i>220, 380</i>
1.4. Номинальный ток I_n , А	<i>16, 25, 40, 63, 80, 100</i>
1.5. Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, mA	<i>10, 30, 100, 300, 500</i>
1.6. Максимальное время отключения T_n , с	<i>$I_{\Delta n} < 0,3$; $2 I_{\Delta n} < 0,15$; $5 I_{\Delta n} < 0,04$</i>
1.7. Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$	<i>$I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}$</i>
1.8. Номинальная включающая и отключающая способность I_{in}	<i>$I_{in} = 10 I_n$ (но не менее 500 А)</i>
1.9. Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{in\Delta}$	<i>$I_{in\Delta} = 10 I_n$ (но не менее 500 А)</i>
1.10. Предельное значение неотключающего тока в условиях сверхтока I_{im}	<i>$I_{im} = 6 I_n$</i>
1.11. Номинальный условный ток КЗ I_{cu} , А	<i>3 000, 4 500, 6 000, 10 000</i>
1.12. Номинальный условный дифференциальный ток КЗ $I_{cu\Delta}$, А	<i>3 000, 4 500, 6 000, 10 000</i>

Продолжение табл. 7.5

2. Проверка правильности установки УЗО в схеме электроустановки	
2.1. Обоснованность выбора зоны защиты УЗО	<i>Перечень электроприемников в зоне защиты, требующих обязательной защиты УЗО (сантехкабины, ванные, сауны, розеточные группы, и т.д.)</i>
2.2. Соответствие параметров УЗО расчетным	<i>параметры п. 1</i>
2.3. Соответствие параметров УЗО параметрам устройств защиты от сверхтоков	$I_{\Delta n0} \geq I_{\Delta nB}$
3. Проверка правильности монтажа	
3.1. Проверка соответствия монтажа утвержденной схеме электроустановки	<i>Монтаж соответствует схеме</i>
3.2. Проверка фазировки подключенных к УЗО проводников (фазных и нулевого рабочего)	<i>Нулевой рабочий и фазный проводники подключены соответственно обозначениям на корпусе УЗО</i>
3.3. Проверка отсутствия соединения нулевого рабочего проводника N в зоне защиты УЗО с нулевым защитным проводником PE, открытыми проводящими частями электроустановки и заземлением	<i>Нулевой рабочий проводник в зоне защиты не имеет соединений с заземленными элементами и корпусами электрооборудования</i>
3.4. Контроль надежности затяжки контактных зажимов УЗО и аппаратов защиты от сверхтока	<i>Затяжка контактных зажимов выполнена с усилием не менее 10 Нм</i>

4. Проверка работоспособности УЗО	
4.1. Проверка фиксации органа управления	<i>Рукоятка четко фиксируется в обоих («Вкл» и «Откл») положениях</i>
4.2. Проверка путем нажатия кнопки «Тест» (пятикратно)	<i>Устройство срабатывает</i>
4.3. Замер отключающего дифференциального тока	$I_{\Delta} = ?$
4.4. Замер «фонового» тока утечки I_{Σ} электроустановки	$I_{\Sigma} = ?$
4.5. Проверка работоспособности системы электрозащиты электроустановки в целом на базе УЗО	<i>Указать на схеме электроустановки точки включения устройства АСТРО*ТЕСТ</i>

7.7. Приемно-сдаточные и сертификационные испытания УЗО

7.7.1. Требования стандартов по испытаниям УЗО

Для проверки соответствия УЗО требованиям стандартов ГОСТ Р 51326.1-99 ГОСТ Р 51327.1-99 [30, 31] установлены следующие категории контрольных испытаний:

- для УЗО, осваиваемых в производстве — квалификационные;
- для серийного производства с целью подтверждения соответствия параметров УЗО требованиям стандартов:
 - приемно-сдаточные;
 - периодические;
 - типовые;
 - на надежность.

Приемо-сдаточным испытаниям подвергаются все УЗО. Испытания предназначены для выявления в условиях неповреждения неприемлемых отклонений в материале или изделиях (Приложение D ГОСТ Р 51326.1-99 [30]).

Проверка расцепления.

Дифференциальный ток пропускают через каждый полюс УЗО поочередно. УЗО не должно срабатывать при токе меньшем или равным $0,5I_{\Delta n}$, но должно срабатывать при токе, равным $I_{\Delta n}$ в течение установленного времени.

Испытательный ток должен прикладываться как минимум пять раз к каждому УЗО и как минимум дважды к каждому полюсу.

Проверка электрической прочности.

Напряжение практически синусоидальной формы волны 1 500 В, частотой 50/60 Гц прикладывают в течение 1 с между следующими частями:

- a) при УЗО в разомкнутом состоянии — между каждой парой выводов, которые электрически соединены, когда УЗО находится в замкнутом состоянии;
- в) для УЗО, не имеющих встроенных электронных компонентов, при УЗО в замкнутом состоянии — между каждым полюсом поочередно и остальными полюсами, соединенными вместе;
- с) для УЗО со встроенными компонентами, при УЗО в разомкнутом состоянии — либо между всеми входными выводами полюсов поочередно, либо между всеми выходными выводами полюсов поочередно, в зависимости от расположения электронных компонентов.

Перекрытий и пробоев не должно быть.

Работоспособность контрольного устройства.

При УЗО в замкнутом состоянии, подключенном к источнику питания надлежащего напряжения, контрольное устройство, приведенное в действие, обязано отключить УЗО.

Если в процессе приемно-сдаточных испытаний обнаружено несоответствие параметров хотя бы по одному требованию, то данный образец считается не выдержавшим испытания и под-

лежит возврату производителю. На УЗО, принятое органами технического контроля, ставится соответствующее клеймо.

Для периодических испытаний должны отбираться образцы УЗО одного типоразмера с наибольшим номинальным током нагрузки, прошедшие приемо-сдаточные испытания, в количестве не менее трех.

Испытания проводятся в объеме и последовательности, указанных в табл. 7.6, ежегодно.

Если при периодических испытаниях обнаружено несоответствие какого-либо параметра образца УЗО техническим требованиям настоящим ТУ, то приемка УЗО должна быть приостановлена для анализа обнаруженных дефектов.

Таблица 7.6

Периодические испытания УЗО

№	Наименование проверки или испытания	Пункт требований стандарта
1	Стойкости маркировки	9.3
2	Надежность винтов, токоведущих частей и соединений	9.4
3	Надежность выводов для внешних соединений	9.5
4	Защита от поражения электрическим током	9.6
5	Электроизоляционные свойства	9.7
6	Превышение температуры	9.8
7	Рабочие характеристики	9.9
8	Механическая и электрическая износостойкость	9.10
9	Поведение УЗО в условиях короткого замыкания	9.11
10	Стойкость к механическому толчку и удару	9.12
11	Теплостойкость	9.13

Продолжение таблицы 7.6

Периодические испытания УЗО

№	Наименование проверки или испытания	Пункт требований стандарта
12	Стойкость к аномальному нагреву и огню	9.14
13	Механизм свободного расцепления	9.15
14	Работа контрольного устройства при предельных значениях номинального напряжения	9.16
15	Поведение УЗО в случае падения напряжения сети	9.17
16	Предельные значения тока несрабатывания в условиях токов КЗ	9.18
17	Устойчивость к нежелательному срабатыванию от импульсов напряжения	9.19
18	Устойчивость изоляции к импульсному напряжению	9.20
19	Поведение УЗО в случае пробоя на землю, содержащего составляющую постоянного тока	9.21
20	Надежность	9.22
21	Старение электронных компонентов	9.23

После устранения дефектов УЗО подвергают повторным испытаниям в полном объеме периодических испытаний на удвоенном количестве образцов.

Квалификационные испытания проводят с целью сертификации осваиваемых в производстве новых типов УЗО на образцах в количестве не менее трех с максимальным током нагрузки.

В дополнение к программе периодических испытаний проводят проверку уровней радиопомех и шума, испытания на прочность при транспортировании, проверку пожаробезопасности.

7.7.2. Испытания электрической прочности изоляции УЗО

Приемо-сдаточные испытания электрической прочности изоляции главной цепи УЗО по п. 9.7 ГОСТ Р 51326.1–99 [30] выполняются на ЗАО «АСТРО-УЗО»–МЭИ на высоковольтной испытательной установке ВИУ-2. Параметры установки ВИУ-2 позволяют использовать ее в составе комплекта испытательного оборудования и при проведении сертификационных испытаний.

Технические характеристики установки ВИУ-2 приведены в табл. 7.7.

Функциональная схема установки приведена на рис. 7.12.

Установка состоит из следующих основных узлов и блоков:

БП— блок питания, в состав которого входит разделительный трансформатор и стабилизатор напряжения для питания цепей автоматики;

БРЗ— блок регулировки и защиты, представляющий собой регулировочный автотрансформатор для установки входного

Таблица 7.7

Технические характеристики установки ВИУ-2

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питающей сети, В	220 ± 22
2	Потребляемая мощность, Вт	1 500
3	Испытательное синусоидальное напряжение, регулируемое, кВ	1,5 ... 2,5
4	Частота испытательного напряжения, Гц	50
5	Ток короткого замыкания, не менее, А	0,2
6	Срабатывание токовой защиты, А	0,1
7	Длительность испытательного напряжения: – в автоматическом режиме, с – в ручном режиме	1 рег. оператором

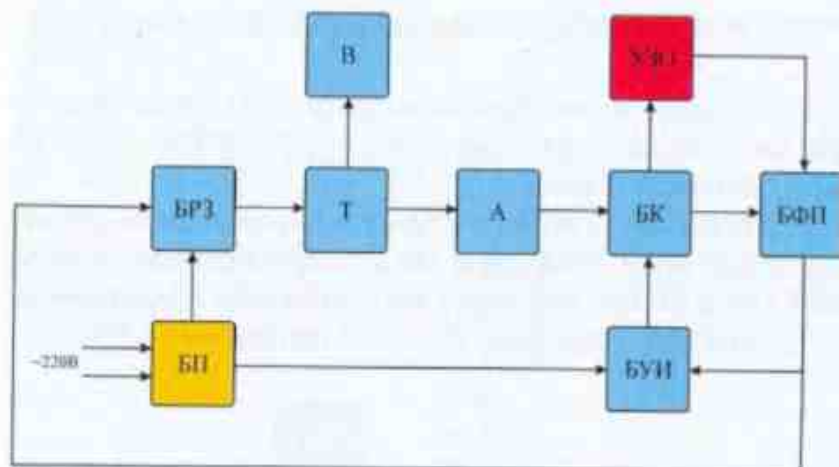


Рис. 7.12. Функциональная схема установки ВИУ-2

напряжения высоковольтного трансформатора и цепь защиты от сверхтоков;

Т— высоковольтный трансформатор, преобразующий установленное в БРЗ напряжение в высоковольтное испытательное напряжение;

В— вольтметр, показывающий установленное испытательное напряжение;

А— амперметр, показывающий в случае пробоя цепей испытываемого УЗО, значение тока пробоя;

БК— блок коммутации, задающий последовательность подключения выводов УЗО к источнику высокого напряжения. Выполнен на высоковольтных контакторах;

БУИ— блок управления и индикации, управляющий работой установки (вручную оператором или автоматически) и отображающий режим работы установки;

БФП— блок фиксации пробоя, регистрирующий пробой изоляции испытываемого УЗО и выдающий в случае пробоя сигнал на отключение высокого напряжения;

УЗО— испытываемое УЗО.

7.7.3. Испытания функциональных характеристик УЗО

Приемо-сдаточные испытания функциональных характеристик УЗО выполняют на ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ на испытательной установке ИУ-1.

Установка может использоваться как для проведения приемо-сдаточных испытаний, так и для сертификационных испытаний УЗО в составе комплекта испытательного оборудования.

Технические характеристики ИУ-1 приведены в табл. 7.8.

Таблица 7.8

Технические характеристики установки ИУ-1

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питающей сети, В	220 ± 22
2	Ток, потребляемый от сети, А	5
3	Установка номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n}$, мА — относительная погрешность, %	10, 30, 100, 300 5
4	Кратность установки номинального отключающего дифференциального тока, раз — относительная погрешность, %	1, 2, 5 5
5	Установка дифференциального тока, мА — дискретность установки, мА — относительная погрешность, %	0,1 ... 2 500 0,6 5
6	Измерение напряжения сети, В — дискретность измерения, В — относительная погрешность, %	164 ... 256 1 2
7	Измерение времени отключения, мс — дискретность измерения, мс — относительная погрешность, %	0,1 ... 2000 1 10
8	Установка угла задержки дифференциального тока ϕ , град («+» и «-») — абсолютная погрешность, град	0, 90, 135 ± 10
9	Габаритные размеры, мм	1960 x 560 x 560
10	Масса, кг	50

Установка состоит из следующих основных узлов и блоков (рис. 7.13)

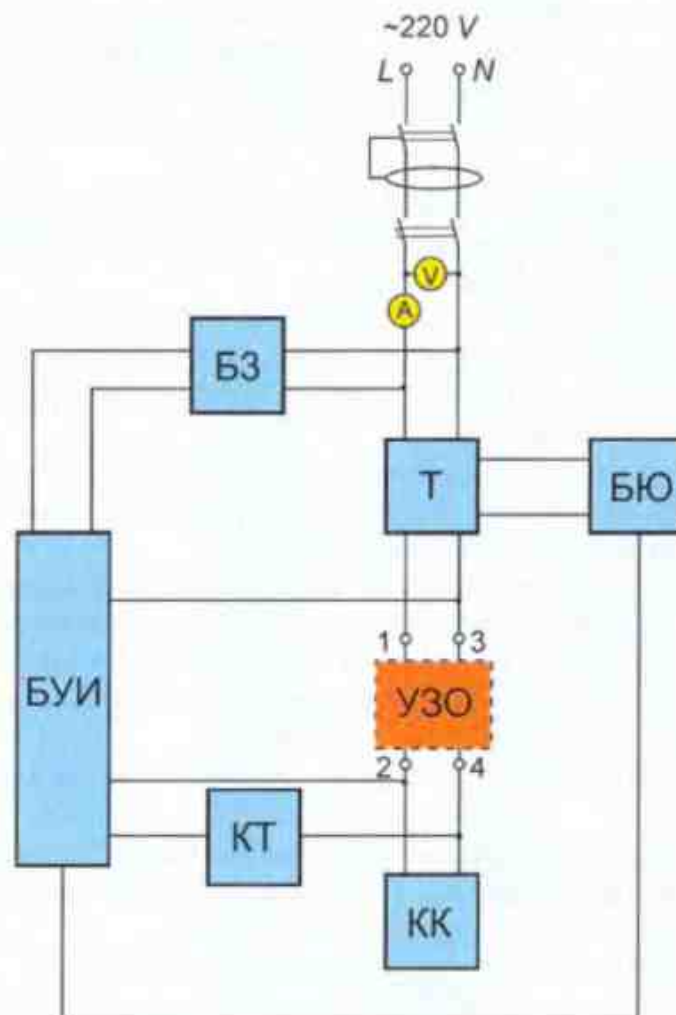


Рис. 7.13. Функциональная схема установки ИУ-1

УЗО — испытываемое устройство защитного отключения; БУИ — микропроцессорный блок управления и измерения; Т — трансформатор; БЗ — блок защиты; КТ — блок контроля дифференциального тока; КК — блок контроля контактов; БЮ — блок юстировки УЗО

Микропроцессорный блок управления и измерения БУИ реализует алгоритм работы установки, производит измерения и вычисления эффективного (действующего) значения несинусоидального тока, измерение напряжения и частоты питающей сети, измерение времени срабатывания УЗО, осуществляет вывод информации на индикатор, а также управление блоком юстировки.

Трансформатор Т служит для разделения питающей и измерительной цепей контроля УЗО и получения повышенных напряжений для блока юстировки.

Блок защиты БЗ служит для защиты БУИ от сверхтоков. БЗ выполнен по электронной схеме, обеспечивающей быстросрабатывающую защиту от перегрузок при неисправности контролируемого УЗО.

Блок контроля дифференциального тока КТ включает в себя миллиамперметр действующего значения с защитой от перегрузок и выбором предела измерения.

Блок контроля контактов КК выполнен на источнике постоянного напряжения, прикладываемого к парам контактов УЗО, замкнутым в рабочем состоянии. Исправность контактов при протекании постоянного тока индицируется светодиодами на лицевой панели.

Блок юстировки УЗО служит для коррекции параметров УЗО.

Измерение напряжения, поступающего на установку, осуществляется вольтметром *ПУ1 «Uc»*, измерение тока, потребляемого установкой, амперметром *РА1 «I»*.

Функциональная схема БУИ приведена на рис. 7.14.

Алгоритм работы БУИ осуществляется микропрограммой, защитой в память микропроцессора *МС1*. Переключателями *S1, S2, S3* задаётся необходимый алгоритм и параметры работы блока.

Дифференциальный ток создается набором активных сопротивлений магазина *М*, управляемых микропроцессором *МС1* через оптоэлектронную развязку *ОР*.

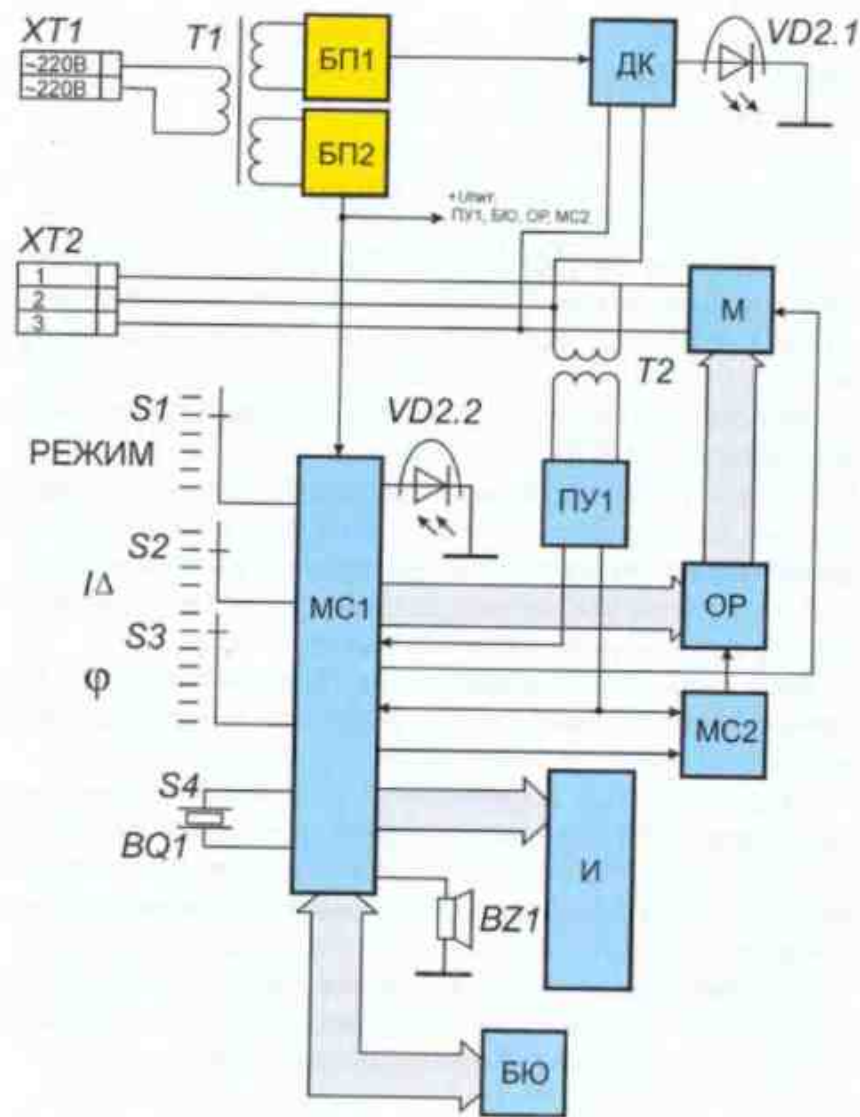


Рис. 7.14. Функциональная схема БУИ

БП1, БП2 — блоки питания; ДК — датчик контактов; М — автоматический магазин сопротивлений; МС1, МС2 — микропроцессоры; ОР — оптическая развязка; ПУ1 — преобразователи уровня; И — индикатор

Микропроцессор МС2 формирует необходимые углы задержки тока для испытаний УЗО типа «А» и даёт разрешение на включение магазина сопротивлений М.

Датчик контактов ДК через оптоэлектронную развязку на оптроне VD2 даёт сигнал о состоянии контактов УЗО при измерении времени.

Преобразователь уровня ПУ1, на вход которого поступает через трансформатор Т2 напряжение сети, позволяет микропроцессору МС1 измерить входное напряжение и частоту сети.

Преобразователь уровня ПУ2 позволяет подключить блок к блоку юстировки УЗО.

Индикатор И предназначен для цифровой индикации эффективного значения тока, времени отключения УЗО, а также дополнительной буквенной информации по режиму испытаний.

Блок питания БП1 служит для питания датчика контактов, изолированного от остальной схемы.

Блок питания БП2 вырабатывает стабилизированное напряжение для питания микропроцессоров и цифровых микросхем.

Примечание. При испытаниях УЗО типа А блок обеспечивает подачу тока несинусоидальной формы, для определения эффективного действующего значения тока встроенный микропроцессор реализует известные математические зависимости.

Проверка правильности измерения эффективного (действующего) значения тока несинусоидальной формы может быть осуществлена только специальным прибором.

8. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ, ОБНАРУЖЕНИЕ ЕЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Режим работы электрической сети, изолированной от земли (режим изолированной нейтрали, IT-системы), широко применяется в электроустановках, требующих повышенной надежности энергоснабжения, и особо опасных по условиям электропоражения.

К таким электроустановкам относятся системы энергоснабжения:

- медицинских учреждений, больниц;
- судов (морских, речных), паромов, драг;
- железнодорожных предприятий;
- предприятий горной, нефтедобывающей, сталеплавильной, химической промышленности;
- испытательного, лабораторного, взрывоопасного производства и др.

В электрических сетях и электроустановках, изолированных от земли, условия электробезопасности и надежности энергоснабжения в значительной мере определяются состоянием изоляции, ее сопротивлением и емкостью относительно земли.

Для обеспечения требуемого уровня сопротивления изоляции в электрической сети или конкретной электроустановке правила предписывают ведение непрерывного автоматического контроля (мониторинга) сопротивления изоляции, осуществляемого устройствами контроля изоляции.

В IT-сетях условия электробезопасности обеспечиваются высоким сопротивлением изоляции относительно земли, од-

нако при необходимости обеспечения высокой степени безопасности вполне оправдано применение УЗО.

Функции устройства контроля изоляции заключаются в измерении сопротивления изоляции сетей **под рабочим напряжением и при включенных токоприемниках**, оценке результатов измерения путем сравнения с уставкой, задаваемой, как правило, по условиям электробезопасности, и, в случае необходимости, включении сигнализации или воздействии на отключающий аппарат.

Таким образом, устройство контроля изоляции осуществляет «защиту человека изоляцией цепей электроустановки» путем ведения непрерывного измерения сопротивления изоляции с целью поддержания его значения на уровне, обеспечивающем условия электробезопасности.

Вышеизложенное означает, что контроль изоляции является, необходимым, но не достаточным условием обеспечения условий электробезопасности.

Достаточными условиями могут быть: поддержание сопротивления изоляции на уровне выше критического, защитное отключение и т.п.

По назначению устройства контроля изоляции можно разделить на группы:

А — устройства автоматического (непрерывного) контроля сопротивления изоляции сети или установки относительно земли;

Б — инспекторские приборы для периодических контрольных измерений сопротивления изоляции в рабочем режиме сети;

В — устройства селективного обнаружения в разветвленных электрических сетях присоединения (фидера) с пониженным сопротивлением изоляции.

В настоящее время в России и за рубежом выпускаются устройства контроля изоляции, отличающиеся друг от друга принципом действия, конструктивными решениями, областью применения, надежностью работы.

Лидирующее положение в области разработки и производства устройств контроля изоляции занимает германская фирма «*Walter Bender GmbH*», имеющая филиалы и дочерние фирмы во многих странах мира — США, Бразилии, Франции, и др.

Программа производства данной фирмы включает в себя устройства контроля изоляции для сетей переменного тока напряжением до 690 В, сетей постоянного тока до 500 В, смешанных (переменного и постоянного тока), отключенных (включаемых периодически), устройства поиска поврежденных присоединений (фидеров) в разветвленных сетях переменного тока напряжением до 10 кВ и постоянного тока до 690 В и др.

Особое место в программе занимают установки резервированного электроснабжения медицинских учреждений, например, операционных и помещений экстремальной терапии (мощностью до 10 кВА).

Главными элементами такой установки являются разделительный трансформатор с устройствами контроля перегрузки, температуры и сопротивления изоляции самого трансформатора, система автоматического включения резерва — АВР, система контроля изоляции электроустановки ответственного потребителя.

Следует отметить, к разделительному трансформатору предъявляются чрезвычайно высокие технические требования по сопротивлению изоляции между первичной и вторичной обмотками, по нагреву, по значению пускового тока, по исполнению и т.д.

Основным отличием от известных устройств системы электроснабжения медицинских учреждений фирмы «*W. Bender GmbH*» является ее высокая надежность, достигаемая за счет ведения постоянного автоматического контроля сопротивления изоляции электроустановки, анализа тенденций его изменений и предупредительной сигнализации в случае установления факта устойчивого снижения сопротивления изоляции.

ЗАО «АСТРО-УЗО»–МЭИ освоило по лицензии фирмы «W. Bender GmbH» производство устройства автоматического контроля изоляции «АСТРО-ИЗО-470» (рис. 8.1).

АСТРО-ИЗО-470 предназначено для ведения непрерывного автоматического контроля (мониторинга) сопротивления изоляции относительно земли одно- и трехфазных электроустановок с системой заземления типа IT (режим изолированной нейтрали) и имеет высокие технические параметры (таблица 8.1).

АСТРО-ИЗО-470 выполняет следующие функции:

- наложение на контролируемую сеть оперативного тока;
- непрерывное измерение текущего значения оперативного тока;



Рис. 8.1. Прибор автоматического контроля изоляции АСТРО-ИЗО-470

Таблица 8.1

Технические параметры прибора АСТРО-ИЗО 470

№	Наименование	Номинальное значение
1	Напряжение контролируемой сети, В	до 690
2	Частота контролируемой сети, Гц	50 ... 400
3	Напряжение питания, В	230 ± 20%
4	Напряжение оперативного тока, В	40
5	Оперативный ток, не более, мкА	200
6	Собственное потребление, ВА	3
7	Внутреннее сопротивление (омическое), кОм	200
8	Внутреннее сопротивление (полное, 50 Гц), кОм	180
9	Максимально допустимое напряжение постоянного тока в контролируемой цепи, В	800
10	Уставка (регулируемая), кОм	1 ... 200
11	Время срабатывания (при емкости контролируемой сети не более 1 мкФ), с	1 ... 3
12	Максимально допустимая емкость контролируемой цепи, мкФ	20
13	Ток в цепи внешнего измерительного прибора ($R_{изм} = 120$ кОм), мкА	0 ... 400
14	Исполнительные контакты	1—разм., 1—замык.
15	Напряжение, коммутируемое исполнительными контактами, В	— переменный ток — постоянный ток
16	Максимальный коммутируемый ток, А	— переменный ток 230 В, $\cos \varphi = 0,4$ — постоянный ток 220 В, $\tau = 0,04$ с
17	Класс защиты	IP 30
18	Диапазон рабочих температур, °C	-10 ... +55

— обработка результатов измерения электронным устройством на базе микропроцессора и сопоставление их с задаваемой уставкой;

— индикация значения сопротивления изоляции относительно земли контролируемой электроустановки;

— включение сигнала тревоги в случае снижения сопротивления изоляции ниже заданного значения (уставки).

Габаритные размеры АСТРО-ИЗО-470 приведены на рис. 8.2, схемы подключения в различных типах сетей — на рис. 8.3, подключение питания и внешних устройств — на рис. 8.4.

Монтаж, подключение и пуск в эксплуатацию устройства должны осуществляться только квалифицированным электротехническим персоналом.

Устройство крепится с помощью защелки на стандартную DIN-рейку 35 мм.

Рекомендуется ежемесячно проверять работоспособность устройства.

Проверка осуществляется нажатием кнопки «ТЕСТ».

Загорание сигнального индикатора «ТРЕВОГА» означает, что устройство исправно.

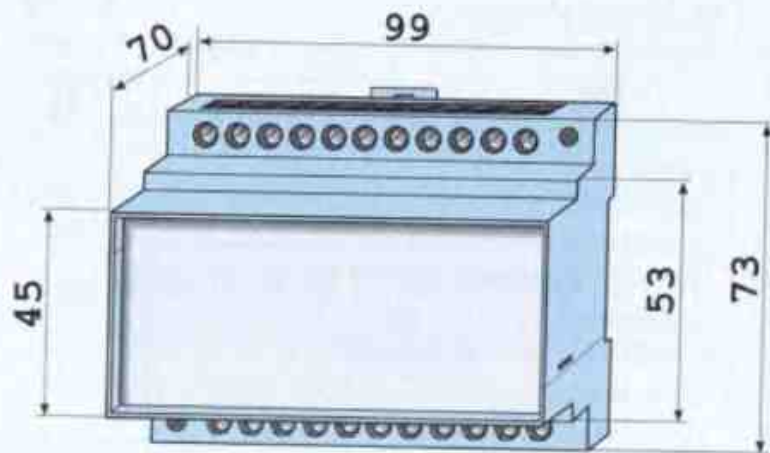


Рис. 8.2. Габаритные размеры АСТРО-ИЗО-470

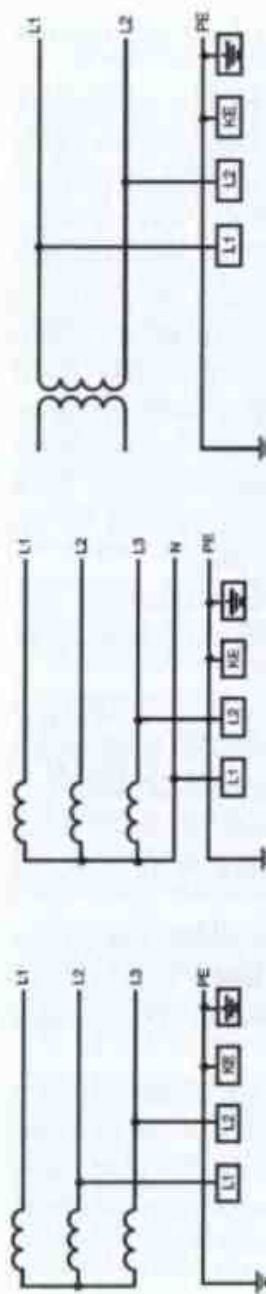


Рис. 8.3. Подключение АСТРО-ИЗО-470 в различных типах сетей

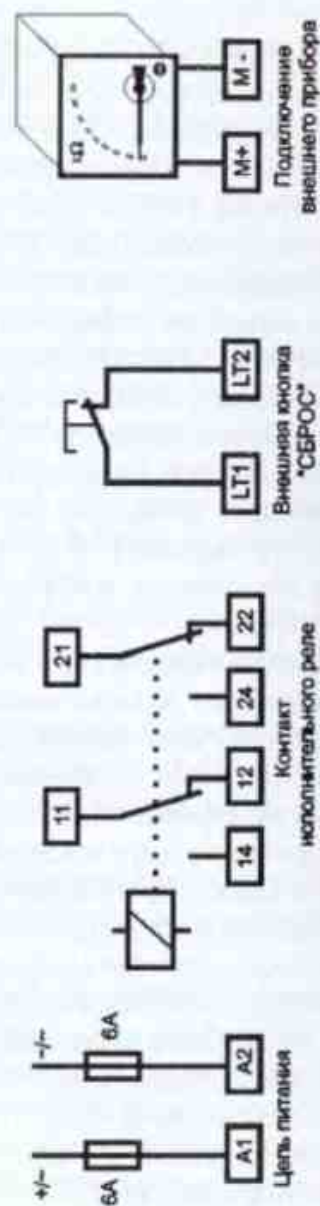


Рис. 8.4. Подключение питания и внешних устройств АСТРО-ИЗО-470

Сигнал тревоги снимается повторным нажатием кнопки «ТЕСТ».

В главе 1.6 ПУЭ (изд. 6) [13] применение устройств контроля изоляции регламентируется п. 1.6.12: «В сетях переменного тока выше 1 кВ с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью, в сетях переменного тока до 1 кВ с изолированной нейтралью и в сетях постоянного тока с изолированными полюсами или с изолированной средней точкой, как правило, должен выполняться автоматический контроль изоляции, действующий на сигнал при снижении сопротивления изоляции одной из фаз (или полюса) ниже заданного значения, с последующим контролем асимметрии напряжения при помощи показывающего прибора (с переключением)». Глава 1.6 нового издания ПУЭ утверждена приказом Минэнерго России от 06.02.2004 № 34, но до настоящего времени не введена в действие.

В ПУЭ 7-го издания [14] (п. 1.7.165) предписывается обязательное применение контроля изоляции в передвижных электроустановках:

«Автономные передвижные источники питания с изолированной нейтралью должны иметь устройство непрерывного контроля сопротивления изоляции относительно корпуса (земли) со световым и звуковым сигналами. Должна быть обеспечена возможность проверки исправности устройства контроля изоляции и его отключения».

Выбор уставки устройств автоматического контроля сопротивления изоляции осуществляют по условиям электробезопасности или по устойчивому среднему уровню сопротивления изоляции сети относительно земли.

Одним из наиболее трудоемких и сложных мероприятий в практике эксплуатации сетей, изолированных от земли, переменного и постоянного тока — ИТ-сетей является выявление фидера (присоединения), в котором произошло замыкание на землю или снизилось до недопустимого уровня сопротивление изоляции.

Существует класс приборов *RCM* — *residual current monitor* — устройство контроля дифференциального тока по классификации МЭК (см. табл. 2.1).

Эти приборы обеспечивают селективный контроль изоляции. По исполнению они могут быть стационарными, с центральным блоком управления и опроса токовых датчиков, установленных на присоединениях, и переносными, в виде токонскательных клещей, позволяющими оператору проследить всю трассу возникшей утечки тока на землю.

Селективным (избирательным) принято называть действие защитного устройства, обеспечивающее отключение только поврежденного участка сети или элемента электрооборудования посредством ближайших к нему выключателей. Алгоритм селективного отключения присоединений должен быть составлен с учетом конфигурации сетей, их разветвленности, категории электроснабжения и т.д.

Принцип селективности действия электротехнического устройства может быть сформулирован в виде двух условий — *необходимого* и *достаточного*.

Необходимым (но не достаточным) условием селективности действия устройства является наличие у каждого контролируемого объекта (электрической цепи) датчика, контролирующего сопротивление его изоляции.

Достаточным условием обеспечения селективности является оптимальный алгоритм опроса датчиков и команд на отключение аппаратов.

В качестве примера устройства поиска поврежденного присоединения в разветвленных сетях переменного тока напряжением до 10 кВ с системами заземления *TN* или *IT* можно привести прибор *RCMS-470* производства вышеупомянутой фирмы «*W.Bender GmbH*», позволяющий вести постоянный контроль токов утечки в 12 фидерах одновременно. Для каждого из фидеров может быть задана соответствующая уставка по дифференциальному току. Выходной сигнал с прибора

может быть подан либо на устройства сигнализации, либо на исполнительные устройства — выключатели.

В заключение следует отметить, что в последнее время стала очевидной тенденция широкого применения сетей типа IT в комплексе с устройством контроля изоляции и в электроустановках бытового назначения — с целью достижения максимально возможной надежности и электробезопасности электроснабжения.

9. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

9.1. Общие положения

Защита от волновых (грозовых и коммутационных) перенапряжений является важной составной частью системы электробезопасности. Важное значение эта защита приобретает и в связи с высоким темпом распространения разнообразной электронной техники и компьютеров, работоспособности которых волновые перенапряжения представляют серьезную угрозу.

Нормативная база по системам защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений для сетей электроснабжения низкого напряжения до настоящего времени разработана недостаточно.

Техническим комитетом TC-81 «*Lightning protection* — молниезащита» международной электротехнической комиссии — МЭК разработаны стандарты, определяющие принципы защиты от волновых перенапряжений зданий и сооружений различного назначения — IEC-62305-1, 2, 3—2006-01 [61, 62], вступивших в действие в январе 2006 г. Ранее были выпущены стандарты по молниезащите строительных конструкций [63–65] и защите от электромагнитных импульсов молнии [66–70]. В данных стандартах принята концепция «зоновой» защиты, основанной на делении объекта на условные защитные зоны и применении специальных устройств защиты от перенапряжений.

В России устройство системы грозозащиты регламентируется Инструкцией по устройству молниезащиты зданий,

сооружений и промышленных коммуникаций [71], внесенной в реестр действующих в электроэнергетике нормативно-технических документов в соответствии с приказом РАО ЕЭС № 422 от 14.08.2003 под номером СО-153-34.21.122-2003 взамен Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений — РД 34.21.122-87 [72]. Учитывая некоторую неполноту новой инструкции — отсутствие, например, требований по устройству молниезащиты взрывоопасных объектов, до выхода более полного издания Госэнергонадзор допускает применение и инструкции РД 34.21.122-87.

9.2. Зоны защиты от воздействия молнии

Согласно Инструкции [71], пространство, в котором расположены электрические и электронные системы, разделяется на зоны различной степени защиты. Зоны характеризуются существенным изменением электромагнитных параметров на границах. В общем случае, чем выше номер зоны, тем меньше значения параметров электромагнитных полей, токов и напряжений в пространстве зоны (рис. 9.1).

Зона 0 — зона, в которой каждый объект подвержен прямому удару молнии, и поэтому через него может протекать полный ток молнии. В этой области электромагнитное поле имеет максимальное значение.

Зона 0_E — зона, в которой объекты не подвержены прямому удару молнии, но электромагнитное поле не ослаблено и также имеет максимальное значение.

Зона 1 — зона, в которой объекты не подвержены прямому удару молнии, и ток во всех проводящих элементах внутри зоны меньше, чем в зоне 0_E — в этой зоне электромагнитное поле может быть ослаблено экранированием.

Прочие зоны устанавливаются, если требуется дальнейшее уменьшение тока (напряжения) и/или ослабление электромагнитного поля.

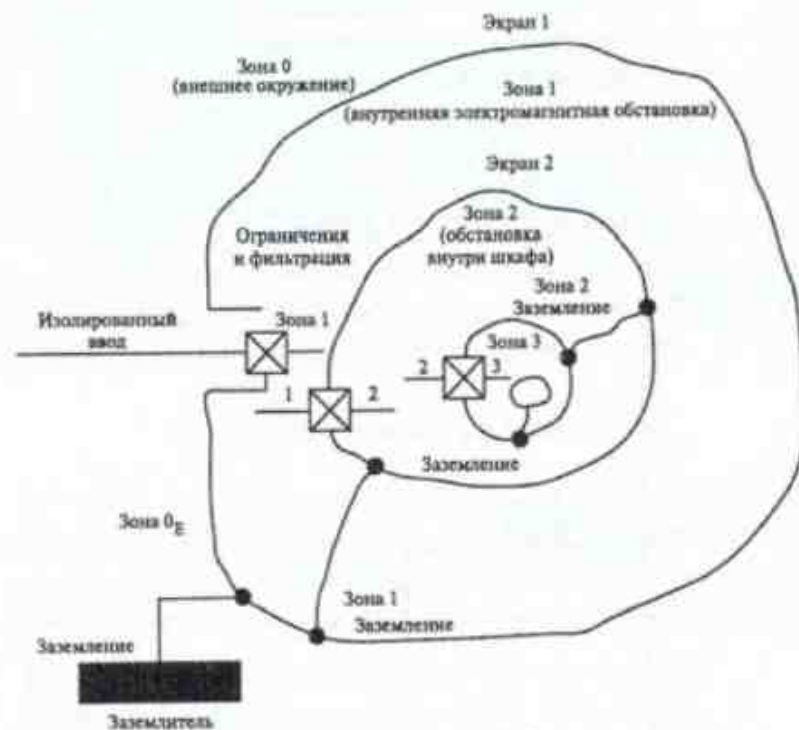


Рис. 9.1. Зоны защиты от воздействия молнии

Требования к параметрам зон определяются в соответствии с требованиями к защите различных зон объекта.

В работе [73] для распределительных электрических сетей до 1 кВ показаны зоны, в которых возможны грозовые перенапряжения различных уровней (рис. 9.2). Участки главной распределительной сети (зона 1), местной распределительной сети (зона 2), системы распределения энергии на объекте (зона 3) и конечный потребитель (зона 4). Для каждой зоны и номинальных напряжений устанавливаются испытательные напряжения.

Зоной 1 считается участок сети от трансформатора до вводного щита в здание, зона 2 — местная распределительная

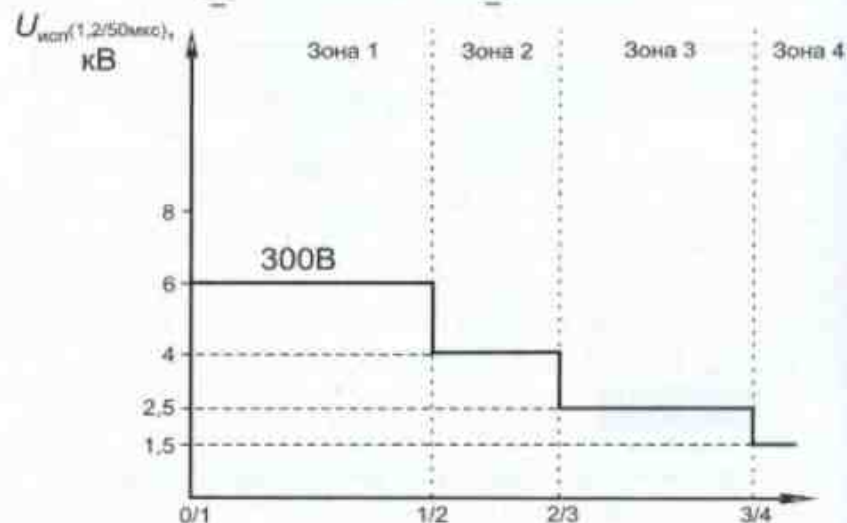
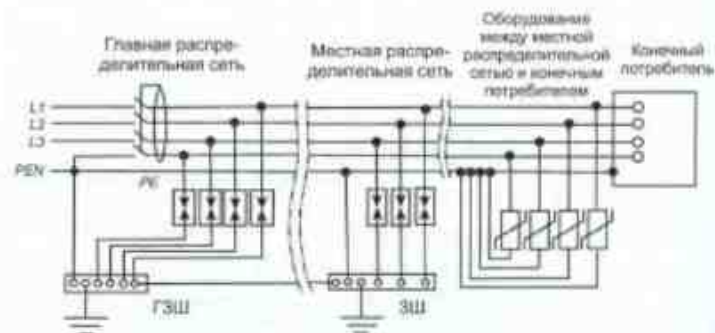


Рис. 9.2. Зоны защиты распределительной электрической сети и значения испытательного импульсного напряжения

сеть (от вводного щита до распределительных щитов), зона 3 — участки сети между распределительными щитами и щитами на вводах в отдельные помещения производственных, жилых и иных зданий, зона 4 — участки электропроводки от щитков к конечным потребителям. Границами зон являются силовой трансформатор — вводной щит — распределительные щиты — щитки и вводы электропитания конечных приборов. Зоны, установленные для сети электропитания, не всегда совпадают с зонами строительного сооружения.

Для каждой зоны установлены уровни импульсных (1,2/50 мкс) испытательных напряжений, зависящие от номинального напряжения сети. Для сети переменного напряжения 220 В, в которой максимальное амплитудное фазное напряжение относительно заземленной нейтрали примерно 300 В, установлено испытательное импульсное напряжение 6 кВ в зоне 1; 4 кВ в зоне 2; 2,5 кВ в зоне 3 и 1,5 кВ в зоне 4 (рис. 9.2).

Перенапряжения в отдельных зонах сети должны быть меньше нормированных испытательных напряжений. Перенапряжения ограничиваются до допустимых значений устройствами, размещаемыми непосредственно на границах зон.

9.3. Испытательные импульсы

Согласно ГОСТу 1516.2-97 [74] за значение испытательного напряжения полного грозового импульса принимают максимальное значение напряжения импульса. Длительность фронта T_{Φ} определяют как время, превышающее в 1,67 раза интервал

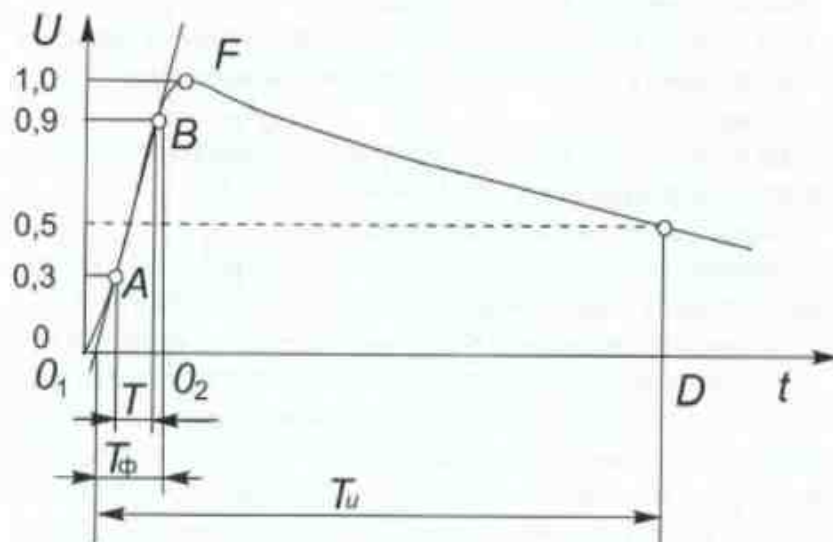


Рис. 9.3. Полный грозовой импульс

времени T между моментами, когда напряжение составляет 30 и 90% своего максимального значения (точки A и B на рис. 9.3). Условное начало импульса определяют как момент времени, находящийся ранее момента, соответствующего точке A , на время, равное $0,3T_{\phi}$ (точка O_1) или $0,5T$. Длительность полного импульса $T_{\text{п}}$ определяют как интервал времени между условным началом импульса O_1 и моментом на спаде импульса, когда значение напряжения понизилось до половины максимального значения. При линейной временной развертке длительность импульса равна длине отрезка O_1D (рис. 9.3). Момент среза импульса определяют как момент времени начала резкого изменения формы импульса напряжения вследствие быстрого снижения напряжения (точка C на рисунках 9.4 и 9.5).

Стандартный полный грозовой импульс должен быть аperiodическим униполярным и иметь следующие параметры:

- длительность фронта T_{ϕ} — $(1,2 \pm 0,36)$ мкс;
 - длительность импульса $T_{\text{п}}$ — (50 ± 10) мкс;
 - допуск на максимальное значение напряжения импульса $\pm 3\%$.
- Обозначение импульса: «1,2/50».

В ГОСТе 1516.2-97 [79] дано также определение значения испытательного напряжения и параметров коммутационного импульса.

При испытании изоляции электрооборудования применяют следующие формы коммутационного импульса:

- аperiodический импульс (рис. 9.6);
- колебательный импульс, представляющий собой затухающие колебания напряжения около нулевого значения (рис. 9.7) или вокруг составляющей более низкой частоты (рис. 9.8).

За значение испытательного напряжения принимают максимальное значение напряжения импульса, если разряд произошел на максимуме напряжения и за ним, и значение напряжения в момент разряда (среза), если разряд произошел на подъеме напряжения (фронте). Время подъема импульса $T_{\text{п}}$ определяют как интервал времени между моментами, когда

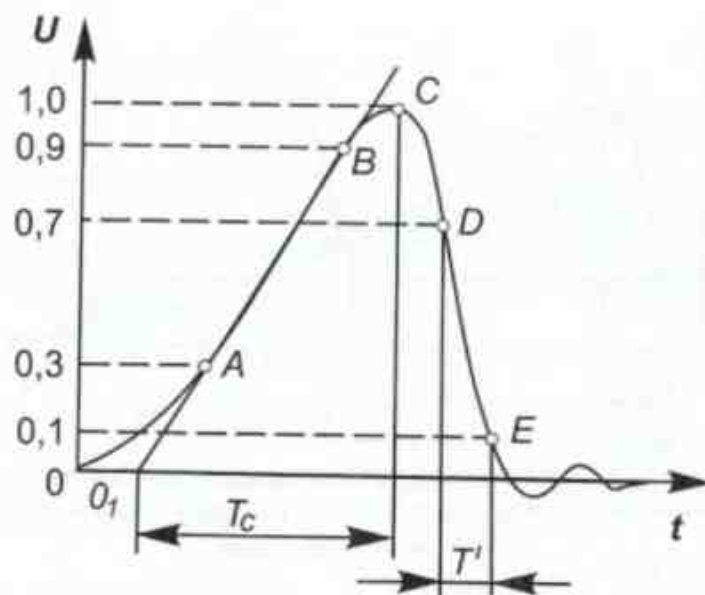


Рис. 9.4. Грозовой импульс, срезанный на фронте

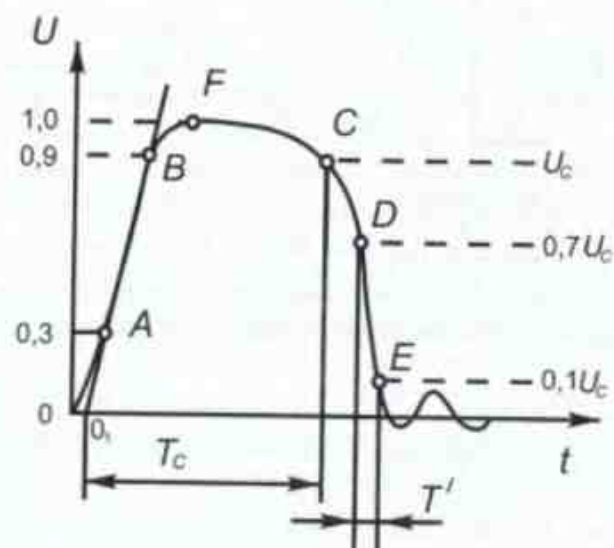


Рис. 9.5. Грозовой импульс, срезанный на спаде импульса

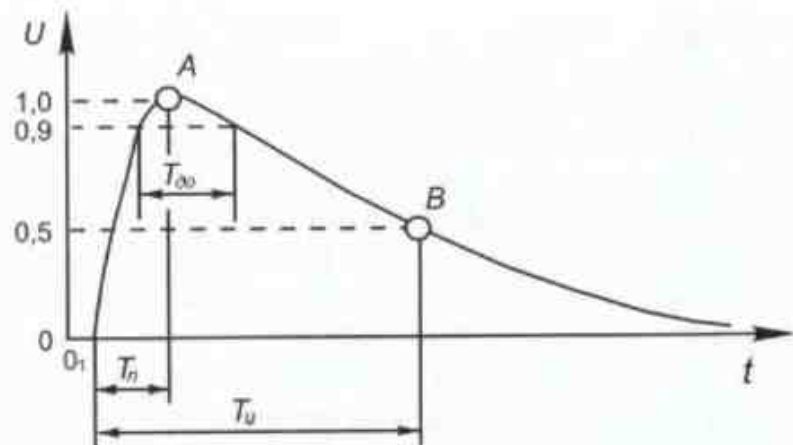


Рис. 9.6. Аперриодический коммутационный импульс

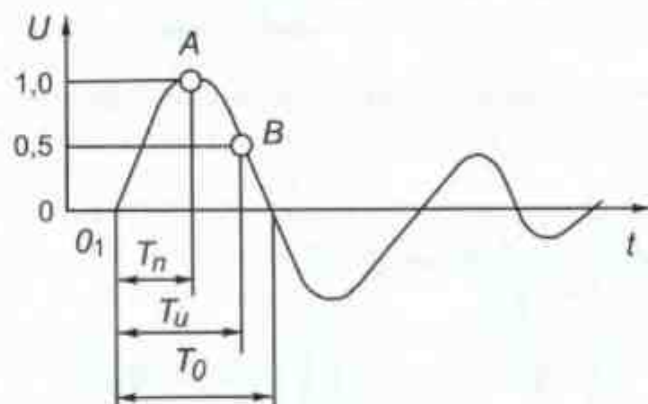


Рис. 9.7. Колебательный коммутационный импульс, затухающие колебания напряжения около нулевого значения

напряжение равно нулю (начало импульса O_1) и когда оно достигнет своего максимального значения A (рис. 9.6–9.8).

Длительность импульса T_u (время до полуспада) определяют как интервал времени между началом импульса O_1 и моментом, когда значение напряжения понизилось до половины максимального значения (рис. 9.6 и 9.7).

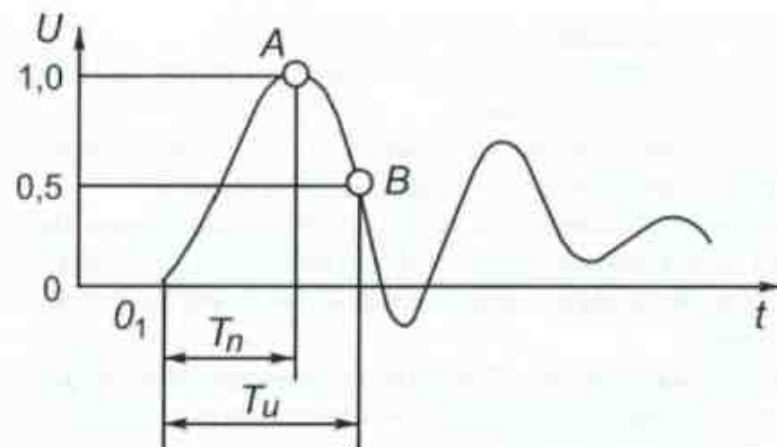


Рис. 9.8. Колебательный коммутационный импульс, затухающие колебания напряжения вокруг составляющей более низкой частоты

Стандартный аперриодический коммутационный импульс должен иметь следующие параметры.

- время подъема T_n — (250 ± 50) мкс;
- длительность импульса T_u — (2500 ± 750) мкс;
- допуск на максимальное значение импульса $\pm 3\%$.

Обозначение импульса: «250/2500».

Допускается применение аперриодических импульсов 100/2500, 500/2500 и 1000/5000 с допусками: на время подъема $\pm 20\%$, на длительность $\pm 30\%$ и на максимальное значение $\pm 3\%$.

Стандарт ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95) [75] распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и оборудование и устанавливает требования и методы испытаний технических средств на устойчивость к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии, вызываемых перенапряжениями, возникающими в результате коммутационных переходных процессов и молниевых разрядов.

Даны определения типов импульсных помех.

1. Коммутационные переходные процессы.

Коммутационные переходные процессы могут быть разделены на группы, связанные с:

а) переключениями в мощных системах электроснабжения, например, коммутацией конденсаторных батарей;

б) переключениями в системах электроснабжения малой мощности в непосредственной близости от потребителя или с изменениями нагрузки в электрических распределительных системах;

в) резонансными колебаниями напряжения в электрических сетях, обусловленными работой таких переключающих приборов, как тиристоры;

г) повреждениями в системах, такими как КЗ на землю и дуговые разряды в электрических установках.

2. Молниевые разряды.

Процессы образования импульсных помех при молниевых разрядах, в основном, сводятся к следующему:

а) при непосредственном ударе молнии в наружную (вне здания) цепь, напряжение импульсных помех образуется вследствие протекания большого тока разряда по наружной цепи и цепи заземления;

б) при косвенном ударе молнии (внутри облака, между облаками или в находящиеся вблизи объекты) образующиеся электромагнитные поля индуцируют напряжения или токи в проводниках наружных и (или) внутренних цепей;

в) при ударе молнии в грунт разрядный ток, протекая по земле, может создать разность потенциалов в системе заземления потребителя.

Быстрые изменения напряжения или тока при срабатывании защитных устройств могут также приводить к образованию импульсных помех во внутренних цепях.

В данном стандарте приведены следующие параметры испытательных импульсов (рис. 9.9–9.11).

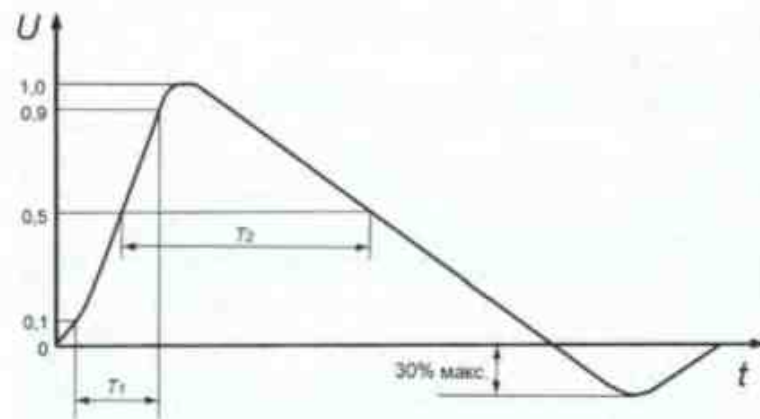


Рис. 9.9. Типовая форма импульса напряжения (1/50 мкс)

Длительность фронта $T_1 = 1 \text{ мкс} \pm 30 \%$

Длительность импульса $T_2 = 50 \text{ мкс} \pm 20 \%$

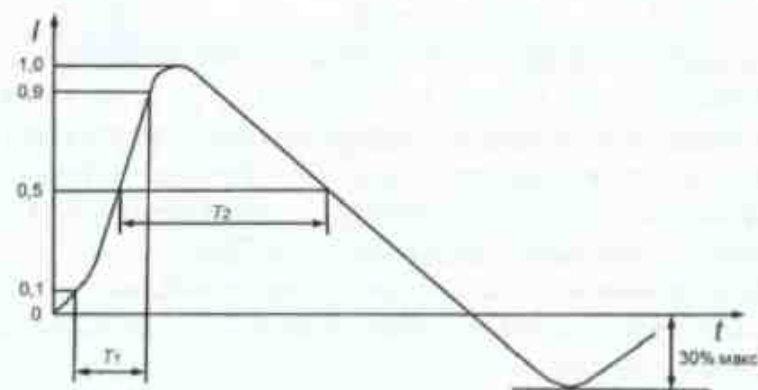


Рис. 9.10. Типовая форма импульса тока (6,4/16 мкс)

Длительность фронта $T_1 = 6,4 \text{ мкс} \pm 20 \%$

Длительность импульса $T_2 = 16 \text{ мкс} \pm 20 \%$

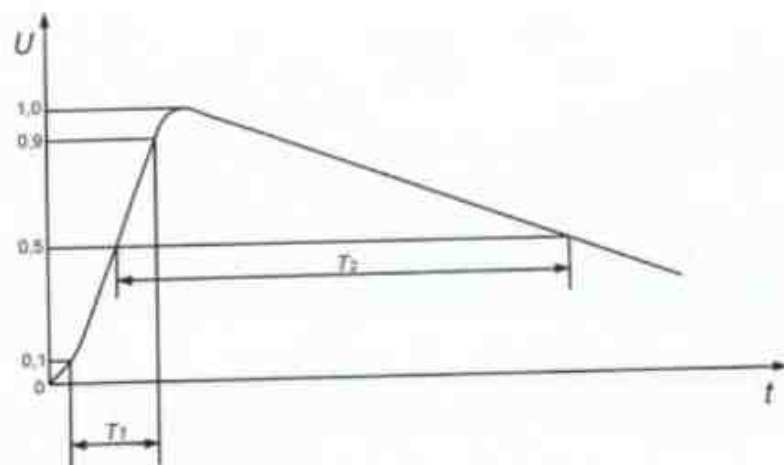


Рис. 9.11. Типовая форма импульса напряжения (6,5/700 мкс)

Длительность фронта $T_1 = 6,5 \text{ мкс} \pm 30\%$
 Длительность импульса $T_2 = 700 \text{ мкс} \pm 20\%$

9.4. Устройства защиты от перенапряжений

Для защиты потребителей от перенапряжений, возникающих при стекании токов молнии на заземляющее устройство или при возникновении волны перенапряжения по питающей сети, в случае отдаленного удара молнии и неблагоприятного процесса коммутации, например, на ближайшей подстанции, применяют устройства защиты от перенапряжений (УЗП).

УЗП устанавливают в месте пересечения линий электроснабжения, управления, связи, телекоммуникации границы двух зон экранирования (рис. 9.12). Границы эшелонированных защитных зон в здании образуются устройствами внешней грозозащиты, стенами зданий (металлическими фасадами, арматурой несущих стен и др.), внутренними экранированными помещениями, измерительными камерами, корпусами приборов и т.д.

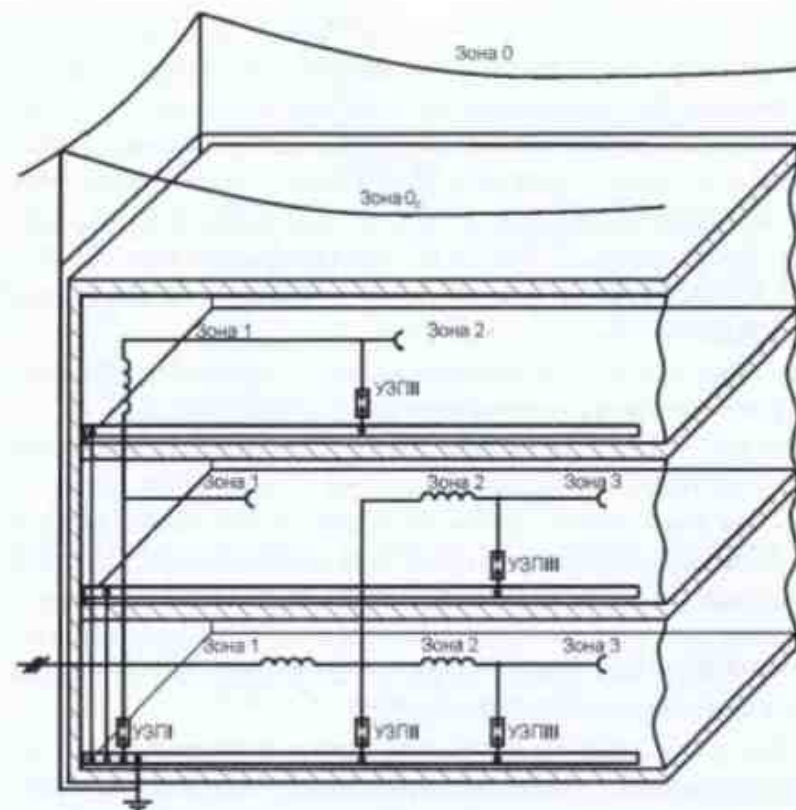


Рис. 9.12. Пример эшелонированной зонной защиты в здании

Стандартом ГОСТ Р 51992-2002 (МЭК 61643-1-98) [76] регламентирована трехступенчатая зонная схема установки УЗП. Классы УЗП для низковольтных электрических сетей, методики их испытаний и принципы применения приведены в стандарте МЭК 61643-12 (2002) [77]. Данные документы устанавливают классы УЗП—I, II и III, в зависимости от места установки, способности пропускать различные импульсные токи. Тип УЗП, схема их установки выбираются на основе оценки риска прямого удара молнии или уровня наводок от удаленного разряда [78].

ГОСТ Р 50571.19-2000 (МЭК 60364-4-443-95) [79] предписывает установку ограничителей для защиты электроустановок от импульсных перенапряжений в случаях, когда установка питается от воздушной линии или включает в себя наружный провод при числе грозовых дней в году более 25. Уровень защитного устройства при этом должен быть не выше 1,5 кВ для однофазной сети 220 В и 2,5 кВ для трехфазной сети 380 В.

В ПУЭ [14] (7-е изд., п. 7.1.22) содержится следующее требование:

«...При воздушном вводе должны устанавливаться ограничители импульсных перенапряжений».

На рис. 9.13 представлена схема питания электроустановки со ступенчатой системой защиты от перенапряжений. На главном вводе после группы предохранителей между каждым фазным проводником и главной шиной заземления включены искровые разрядники. При импульсах перенапряжений, поступающих по проводам сети, или при повышении потенциала точки А во время прямого удара молнии разрядники срабатывают и пропускают заряд на землю.

При ударе молнии потенциал точки А относительно удаленного заземлителя, например, заземлителя трансформатора источника питания, может достигать миллиона вольт. Однако напряжение между фазами сети и главной заземляющей шины не превысит значение напряжения срабатывания искровых разрядников. Это означает, что вся внутренняя электропроводка испытывает одинаковое повышение потенциала.

Допустимо также предположить, что при соотношении сопротивлений заземлителя и проводов сети 1:10 лишь 10 % тока молнии поступает в распределительную сеть электроустановки.

Наряду с классическими разрядниками во внутренней грозозащите применяются ограничители перенапряжений (ОПН), состоящие из параллельно соединенных искрового разрядника и варистора.

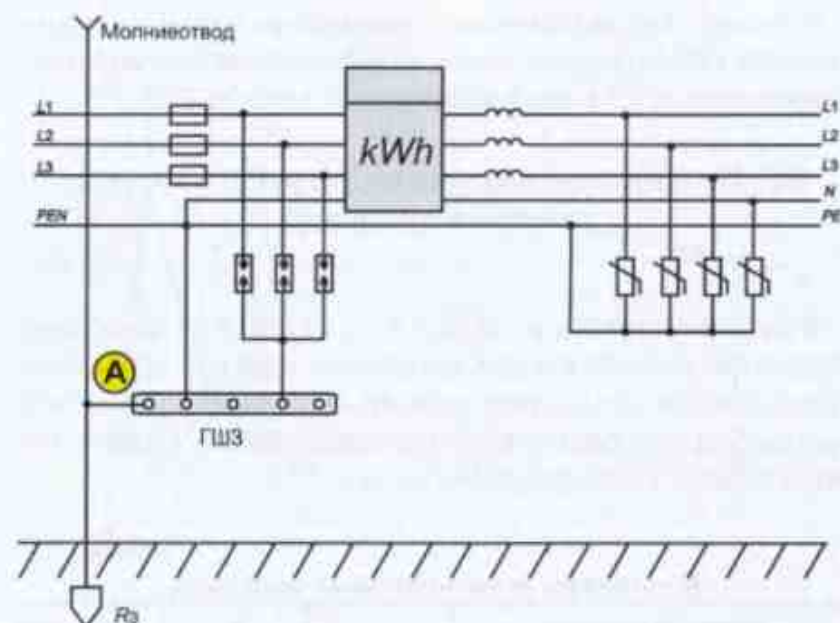


Рис. 9.13. Схема питания электроустановки со ступенчатой системой защиты от перенапряжений

Варистор ограничивает перенапряжения, вызванные дальними ударами молний, искровой разрядник срабатывает при прямом ударе молнии, если из-за больших токов на варисторе остается достаточное высокое остающееся напряжение.

При необходимости, в областях с высокой грозовой активностью, остающиеся перенапряжения на последующих зонах снижают дополнительно включенными варисторными или комбинированными ОПН с различными параметрами, устанавливаемыми на границах зон. При этом для развязки ступеней защиты применяют специальные, включаемые последовательно в линию индуктивности.

Путем применения рационально эшелонированной защиты можно, как и в сетях высокого напряжения, достичь требуемой координации изоляции.

В российских нормативных документах указания о применении ОПН имеются также во «Временных указаниях по применению УЗО в электроустановках зданий» [37].

9.5. Технические параметры устройств защиты от перенапряжений

В качестве примера в таблице 9.1 и на рис. 9.14 приведены параметры испытательных импульсов тока для испытания оборудования различных классов. Осциллограммы тока импульсного разряда и восстанавливающегося напряжения варисторного ОПН приведены на рис. 9.15.

Таблица 9.1

Параметры испытательных импульсов

Параметр / импульс	1	2	3
i_{max} , кА	100	60	5
Удельная энергия W/R , Дж/Ом	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^7$
Q_{max} , Кл	50	10	0,1
Форма импульса, мкс	10/350	8/20	8/20

Для защиты от импульсных перенапряжений применяются вентильные разрядники, калиброванные искровые промежутки, различного вида нелинейные сопротивления, варисторы и их комбинации. Далее для простоты изложения как обобщающий будет использоваться термин «защитный элемент».

Вольтамперная характеристика наиболее широко применяемого защитного элемента — металлооксидного варистора представлена на рис. 9.16.

Защитные элементы согласно классификации МЭК [76] по назначению и по параметрам разделяются на классы *A*, *B*, *C* и *D*.

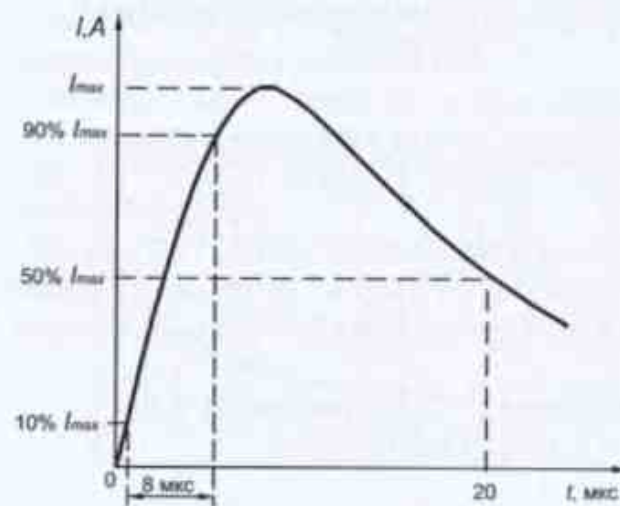
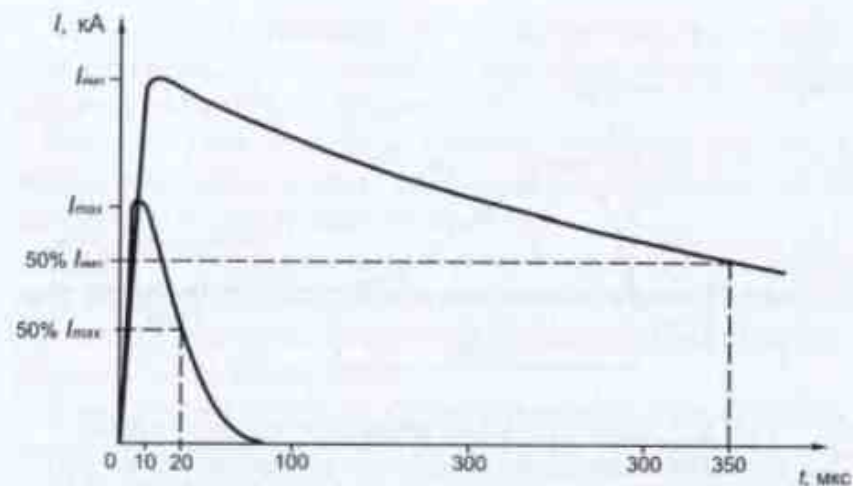


Рис. 9.14. Испытательные импульсы

- 1 — испытательный импульс 10/350 ($I_{max} = 100$ кА);
- 2 — испытательный импульс 8/20 ($I_{max} = 60$ кА);
- 3 — испытательный импульс 8/20 ($I_{max} = 5$ кА)

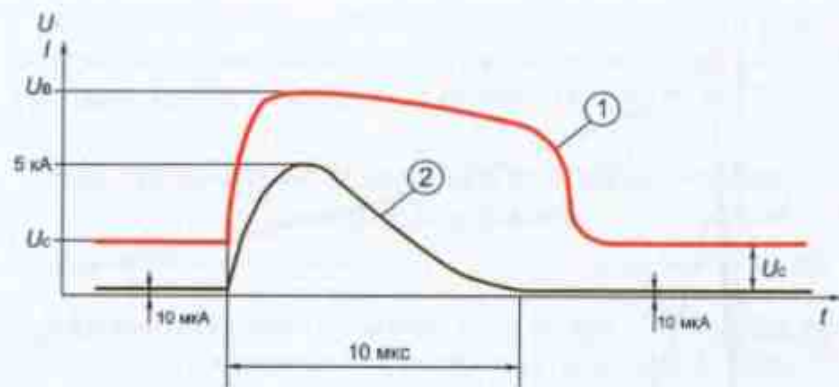


Рис. 9.15. Осциллограммы тока импульсного разряда и восстанавливающегося напряжения варисторного ОПН

U_c — напряжение сети, 1 — восстанавливающееся напряжение U_n ; 2 — ударный ток

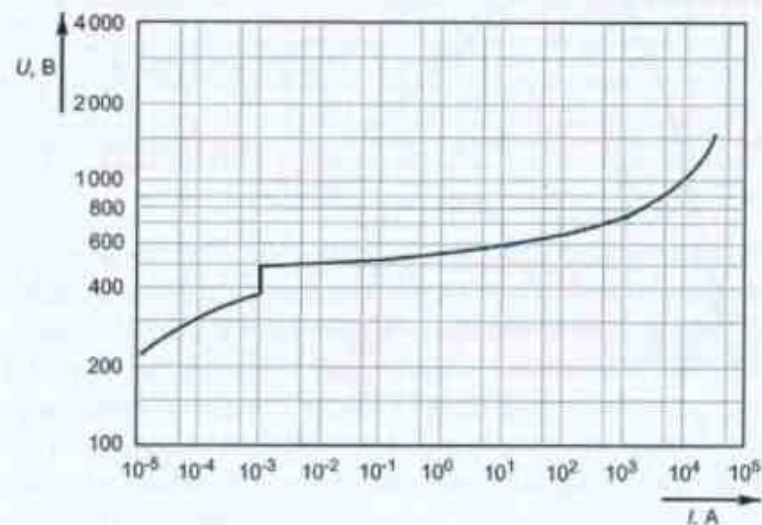


Рис. 9.16. Вольтамперная характеристика металлооксидного варистора

Класс *A*. Предназначены для установки в распределительных воздушных сетях низкого напряжения. Испытываются ударным током 3 (табл. 9.1).

Класс *B*. Предназначены для систем уравнивания грозовых перенапряжений и защиты от прямых ударов молнии. Испытываются ударным током 1 (табл. 9.1).

Класс *C*. Предназначены для защиты от импульсных перенапряжений в стационарных электроустановках и устанавливаются во вводных распределительных щитах. Испытываются ударным током 3 (табл. 9.1).

Класс *D*. Предназначены для защиты от импульсных перенапряжений в стационарных и передвижных электроустановках и устанавливаются в розеточных блоках или непосредственно у потребителя. Испытываются комплексными импульсами напряжения 1,2/50 и тока 8/20 мкс.

Известными европейскими производителями защитных элементов различных систем являются фирмы: *DEHN*, *ABB*, *INDELEC*, *LEGRAND*, *ISKRA*, *CITEL*, *EFEN*, *OBO BETTERMANN* и др.

На рис. 9.17 приведена схема питания электроустановки с системой заземления *TN-C-S* и устройствами защиты от перенапряжений, рекомендуемая фирмой *DEHN*.

9.6. Ограничитель перенапряжений АСТРО*ОПН-12/0,4

Начиная с 1999 г. ЗАО «АСТРО-УЗО» — МЭИ серийно производит ограничители волновых перенапряжений типа АСТРО*ОПН-12/0,4 (рис. 9.18).

АСТРО*ОПН-12/0,4 предназначен для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений в электроустановках жилых, общественных, административных и бытовых зданий при воздушном вводе. АСТРО*ОПН-12/0,4 представляет собой

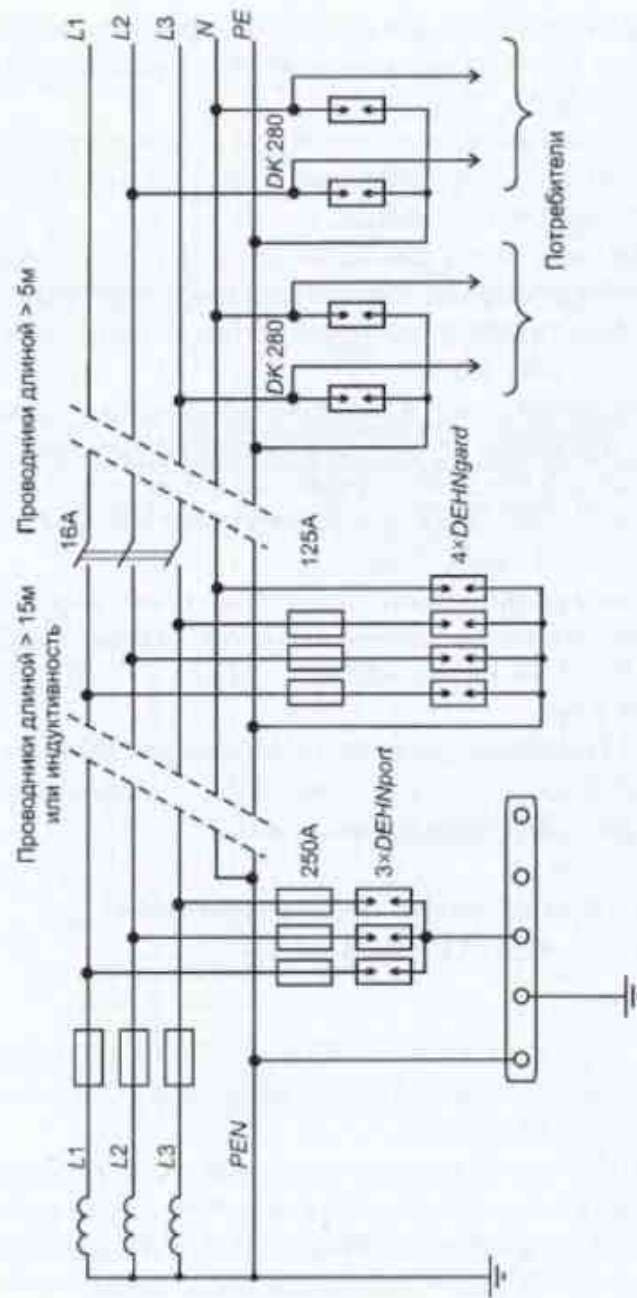


Рис. 9.17. Схема питания электроустановки системы TN-C-S с устройствами защиты от перенапряжений DEHN



Рис. 9.18. Ограничитель волновых перенапряжений типа АСТРО*ОПН-12/0,4

разрядник без искровых промежутков, активная часть которого состоит из металлооксидного нелинейного резистора (МНР) с высоконелинейной вольтамперной характеристикой.

Защитное действие ОПН основано на пропускании импульсного тока с токоведущих проводников на заземляющее устройство, что обеспечивает снижение перенапряжений до безопасного значения, при котором не происходит пробоя изоляции электрооборудования.

В табл. 9.2 приведены его основные технические данные. Ограничитель перенапряжений нелинейный АСТРО*ОПН-12/0,4 предназначен для защиты от грозовых и коммутационных

перенапряжений электроустановок, в сетях 380/220 В переменного тока частоты 50 Гц. Ограничители ОПН предназначены для внутренней установки климатического исполнения УХЛ4.

Габаритные и установочные размеры АСТРО*ОПН-12/0,4 приведены на рис. 9.19.

Подключение АСТРО*ОПН-12/0,4 в схемах электроустановок зданий приведено на рис. 9.20, 9.21.

Во Временных указаниях по применению УЗО в электроустановках зданий [37] (п. 6.3) имеется требование: «При выборе схемы электроснабжения, распределительных щитков и собственно типов УЗО следует обратить особое внимание на необходимость установки ограничителей перенапряжений ОПН (разрядников) при воздушном вводе».

Технические параметры АСТРО*ОПН-12/0,4

№	Наименование параметра	Номинальное значение
1	Напряжение U_n , В	220/380
2	Наибольшее допустимое напряжение ОПН $U_{эфф}$, В	400
3	Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, кА	10
4	Остающееся напряжение при импульсе тока, не более: В	
	— 250 А, 8/20 мкс (U_{250})	1000
	— 250 А, 30/60 мкс ($0,995 U_{250}$)	995
	— 2 500 А, 8/20 мкс ($1,18 U_{250}$)	1180
	— 5 000 А, 8/20 мкс ($1,26 U_{250}$)	1260
	— 5 000 А, 1/2,5 мкс ($1,35 U_{250}$)	1350
	— 10 000 А, 8/20 мкс ($1,35 U_{250}$)	1350
5	Классификационное напряжение $U_{кл}$ (амплитудное значение синусоидального напряжения частоты 50 Гц при амплитудном значении тока через ОПН 1,5 мА), В	710
6	Максимальный разрядный ток (4/10 мкс), кА	50
7	Максимальная энергия, поглощаемая при коммутационном перенапряжении, кДж	0,8
8	Габаритные размеры, мм	85 x 65 x 17,5

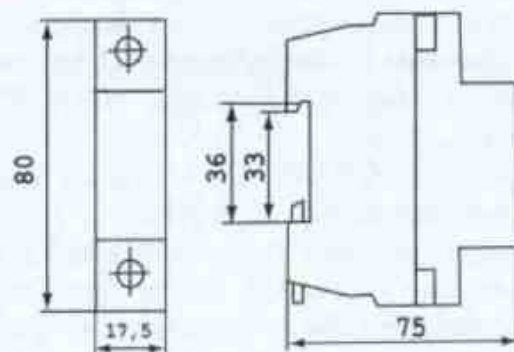


Рис. 9.19. Габаритные и установочные размеры АСТРО*ОПН-12/0,4

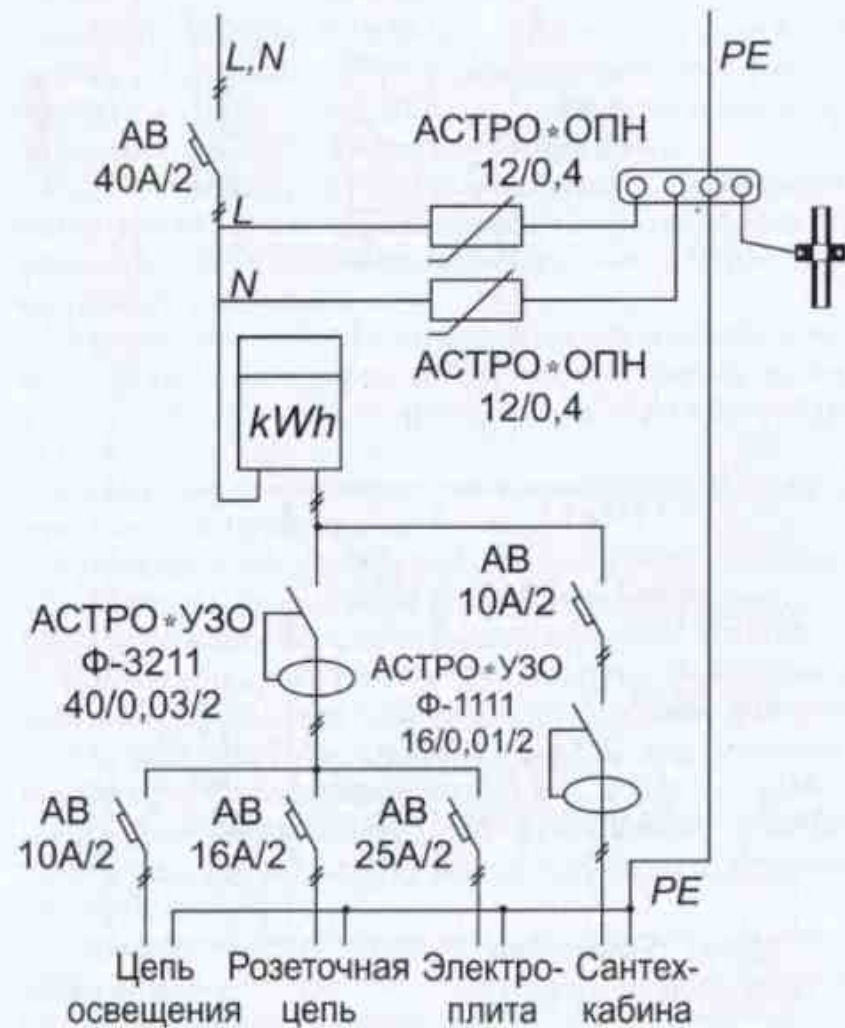


Рис. 9.20. Подключение АСТРО*ОПН-12/0,4 в электроустановке здания (однофазная сеть)

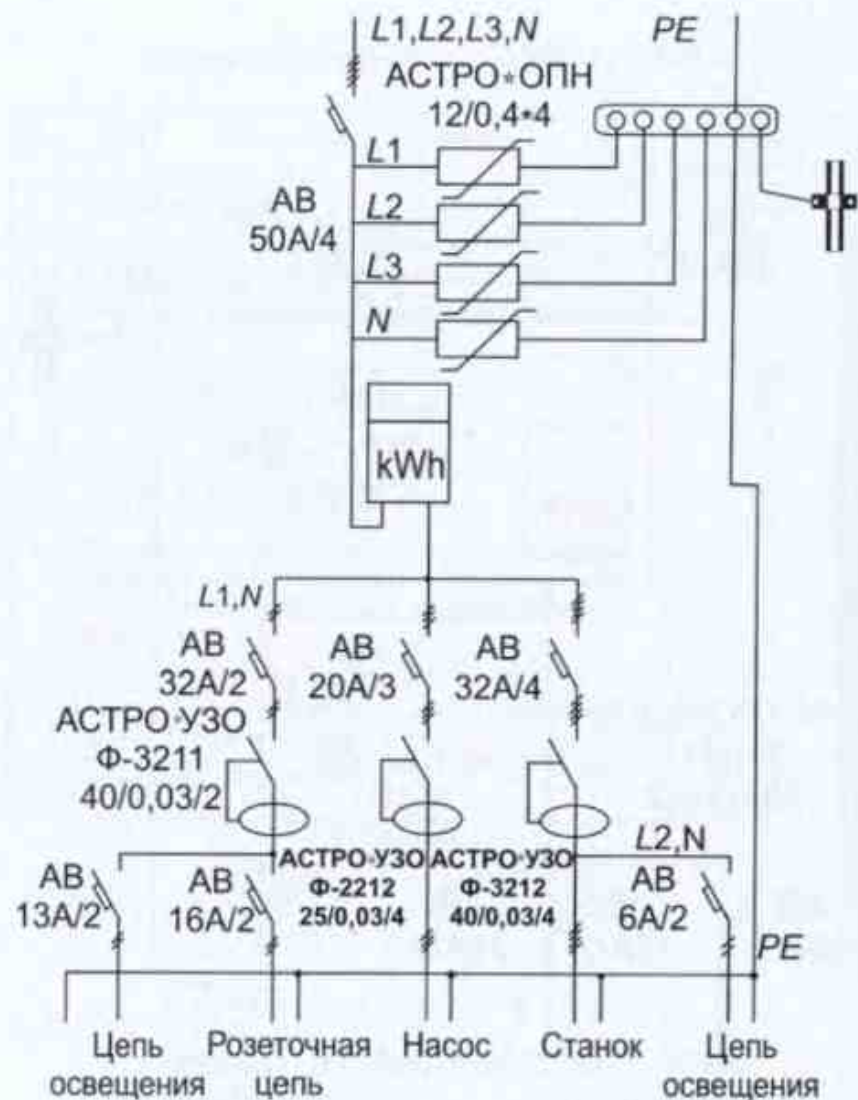


Рис. 9.21. Подключение АСТРО*ОПН-12/0,4 в электроустановке здания (трехфазная сеть)

Предлагаемое использование АСТРО*ОПН-12/0,4 в электроустановках зданий позволит выполнить вышеуказанные предписания.

Монтаж, подключение и пуск в эксплуатацию устройства должны осуществляться только квалифицированным электротехническим персоналом. Устройство крепится с помощью защелки на стандартную монтажную DIN-рейку.

ОПН не требует специальной подготовки к эксплуатации кроме внешнего осмотра, подтверждающего отсутствие видимых повреждений корпуса, загрязнения его поверхности и коррозии контактов.

Потребителем могут быть проведены предмонтажные испытания одним из перечисленных ниже способов на чистых и сухих ОПН при температуре окружающего воздуха и ОПН от плюс 5°C до плюс 35°C.

Значение напряжения при протекании через ОПН постоянного тока 1мА не должно быть ниже 730 В.

В качестве источника напряжения может быть использован любой аппарат, допускающий плавный подъем напряжения до 1 кВ с измерением его действующего значения.

Для измерения тока утечки один из выводов ограничителя соединяется с выводом испытательной установки, а второй вывод присоединяется к заземлению через измерительный прибор класса точности не ниже 4.

ОПН не подлежат ремонту эксплуатирующими организациями и не требуют какого-либо обслуживания и контроля при эксплуатации.

Ограничитель представляет собой разрядник без искровых промежутков, активная часть которых состоит из металлооксидных нелинейных резисторов (МНР) с высококонелинейной вольтамперной характеристикой.

Защитное действие ограничителя перенапряжений основано на протекании через него при появлении опасных перенапряжений (в силу высококонелинейной вольтамперной характери-

стики МНР), импульсного тока на заземляющее устройство, что обеспечивает снижение перенапряжений до безопасного значения, при котором не происходит пробоя изоляции электрооборудования.

9.7. Устройство защиты от перенапряжений АСТРО*УЗП-8/D

В 2005 г. ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ освоило производство устройств защиты от перенапряжений—УЗП типа АСТРО*УЗП-8/D (рис. 9.22, 9.23).

Устройство защиты от перенапряжений АСТРО*УЗП-8/D предназначено для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений электроприборов—офисной оргтехники, бытовых приборов, компьютеров и т.п., подключенных к электросети 220В посредством удлинителя с блоком розеток.

УЗП АСТРО*УЗП-8/D включается в свободную розетку блока и защищает от перенапряжений все электроприборы, подключенные к данному розеточному блоку. УЗП предназначено для внутренней установки. Климатическое исполнение УХЛ2 по ГОСТ 15150-69 [82].

УЗП представляет собой разрядник без искровых промежутков, активная часть которого выполнена на металлооксидном нелинейном резисторе с высоконелинейной вольтамперной характеристикой.

Защитное действие устройства АСТРО*УЗП-8/D основано на шунтировании опасных импульсных перенапряжений, возникающих в сети вследствие грозовых разрядов или коммутационных процессов в сети.

Особенностью устройства АСТРО*УЗП-8/D является то, что это устройство осуществляет защиту оборудования от импульсных перенапряжений без подключения к защитному проводнику PE—«земле».



Рис. 9.22. Устройство защиты от перенапряжений АСТРО*УЗП-8/D

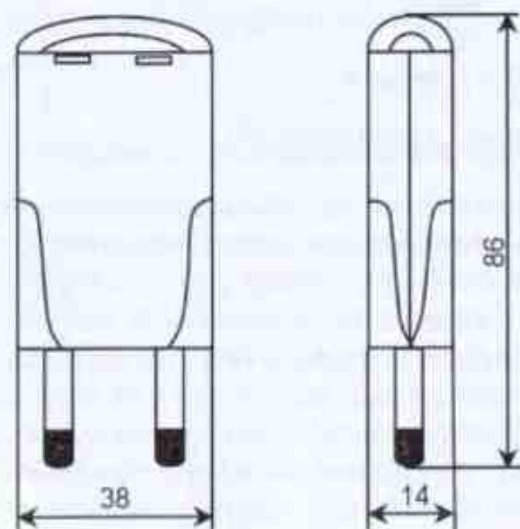


Рис. 9.23. Габаритные размеры устройства АСТРО*УЗП-8/D

Таблица 9.3

Технические параметры АСТРО*УЗП-8/D

№		Номинальное значение
1	Напряжение $U_{\text{н}}$, В	220 ... 240
2	Максимальный разрядный ток 8/20 мкс, однократный импульс, А	8 000
	многократный (≤ 100), А	950
3	Быстродействие (время реакции), мс	< 25
4	Классификационное напряжение $U_{\text{к}}$ (амплитудное значение синусоидального напряжения частоты 50 Гц при амплитудном значении тока через ОПН 1,5 мА), кВ	1,2
5	Максимальная энергия, поглощаемая при импульсе перенапряжения (2 мс), Дж	150
6	Индикация состояния — (свечение светодиода)	
	исправное —	зеленый
	неисправное (подлежит замене) —	красный
7	Габаритные размеры, мм	85 x 36 x 14
8	Класс защиты по МЭК 61647	D

Подключение и пуск в эксплуатацию устройства могут быть выполнены и неквалифицированным персоналом. Устройство включается в свободную розетку удлинителя (рис. 9.24).

УЗП имеет индикацию исправности устройства. В исправном устройстве постоянно светится светодиод зеленого цвета. Устройство может выйти из строя при появлении в сети импульса, превышающего его максимальный разрядный ток, например, вследствие близкого удара молнии. В этом случае зеленый светодиод гаснет, а загорается светодиод красного цвета.

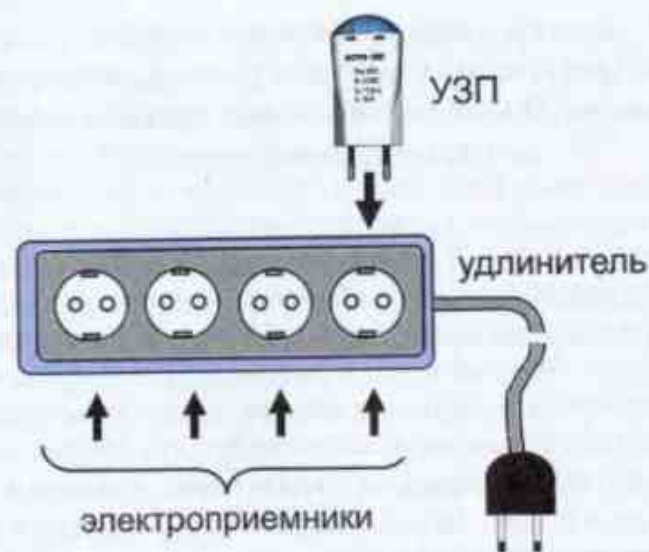


Рис. 9.24. Включение АСТРО*УЗП-8/D в удлинитель

ПЕРЕЧЕНЬ

**зданий, сооружений и предприятий,
электроустановки которых сертифицируются
согласно Правилам «Системы сертификации
электроустановок зданий»**

Первая очередь: Жилые дома (здания) всей этажности. Специализированные дома: общежития, гостиницы-приюты, дома маневренного фонда, специальные дома для одиноких престарелых, дома-интернаты для инвалидов и ветеранов и тому подобное, квартиры, служебные, жилые помещения.

Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров (школы, школы-интернаты, колледжи, лицеи, техникумы, вузы, детские сады и ясли, детские оздоровительные лагеря и др.).

Вторая очередь: Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы. Лечебно-профилактические учреждения (поликлиники, клиники, медсанчасти, амбулатории, больницы, госпитали, родильные дома, травмопункты, санатории, профилактории и др.).

Предприятия общественного питания (рестораны, кафе, столовые, буфеты, бары, молокораздаточные пункты и др.).

Предприятия бытового обслуживания (бани, сауны, прачечные, КБО, химчистки, парикмахерские, фотоателье, мастерские по ремонту, пошиву, общественные туалеты и др.).

Предприятия торговли (универмаги, торговые центры, магазины, торговые киоски, крытые рынки и др.).

Третья очередь: Учреждения финансирования, кредитования и страхования (банки, обменные пункты, казино, страховые компании и агентства, таможенные и налоговые службы и др.).

Учреждения управления (административные учреждения, общественные организации, союзы, партии).

Культурно-досуговые и спортивные учреждения (театры, кинотеатры, дворцы, клубы и дома культуры, стадионы, бассейны и др.).

Учреждения искусства (музеи, галереи и выставочные залы, библиотеки и др.).

Здания для транспорта (вокзалы всех видов транспорта (кроме метро), транспортные агентства).

Учреждения непроеизводственных сфер деятельности (проектные, конструкторские и научные организации, архивы, гаражи личного транспорта и др.).

Перечень разработан в соответствии с Законом РФ «Об основах Федеральной жилищной политики», СНиП 2.08.01-89 и СНиП 2.08.2-89.

СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

с примерами повреждений, учитываемыми при выборе и обосновании мер защиты от поражения электрическим током при наличии неисправности (по ГОСТ Р МЭК 61140-2000 [11], Приложение В)

На рисунках П.2.1-П.2.13 приняты следующие обозначения:

$U_{пр}$ — напряжение прикосновения; $U_{ш}$ — шаговое напряжение; $R_{ист}$ — заземлитель источника питания; $R_{пов}$ — заземлитель для повторного заземления PEN-проводника; $R_{эл1}$ — сопротивление заземления электроприемника 1; $R_{эл2}$ — сопротивление заземления электроприемника 2; $R_{в}$ — сопротивление в заземляющем проводнике нейтрали источника питания; R_{PEN} — полное сопротивление PEN-проводника; R_{PE} — сопротивление PE-проводника; R_{\oplus} — сопротивление в заземляющем проводнике фазы источника питания; ОЭ — однофазный электроприемник.

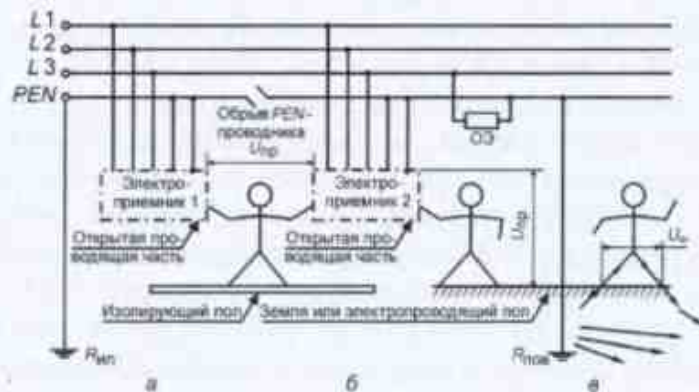


Рис. П. 2.1. Сеть TN-C с оборванным PEN-проводником

Уравнивание и выравнивание потенциалов отсутствуют. Стрелками показан ток, стекающий с заземлителя в землю и частично проходящий через ноги по телу человека под воздействием шагового напряжения, при котором возможно смертельное поражение электрическим током

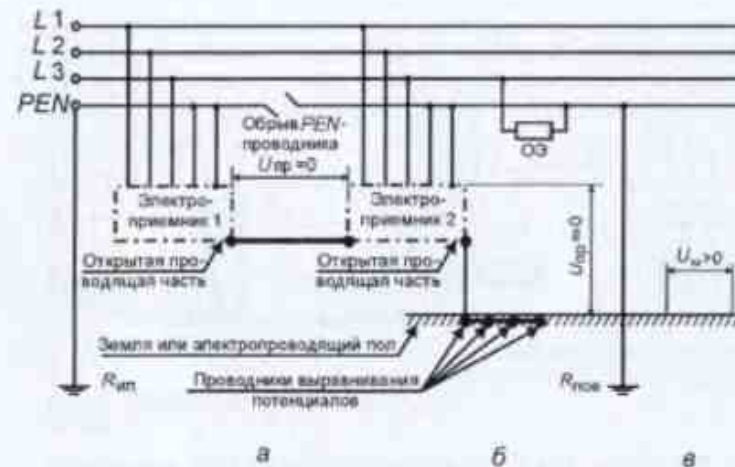


Рис. П. 2.2. Сеть TN-C с оборванным PEN-проводником

Имеется уравнивание потенциалов на участке а) и выравнивание потенциалов на участке б). В рассматриваемом аварийном режиме шаговое напряжение на участке в) может достигать опасных для жизни людей и животных значений

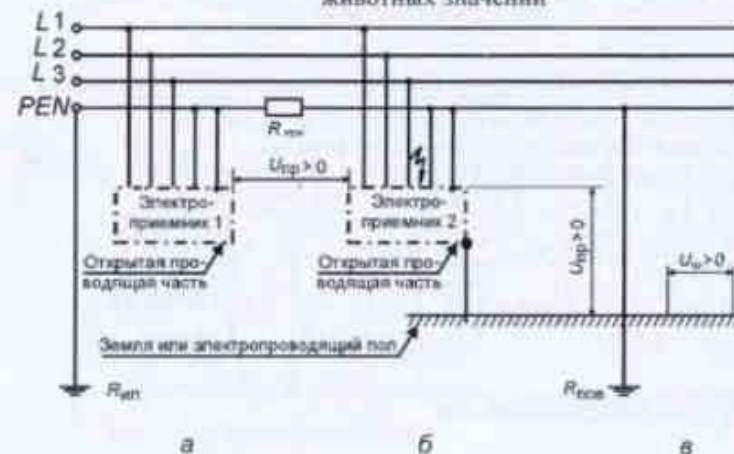


Рис. П. 2.3. Сеть TN-C с однофазным замыканием на корпус

Здесь и на следующих рисунках уравнивание и выравнивание потенциалов отсутствуют. В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения и шагового напряжения могут до момента срабатывания защиты принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

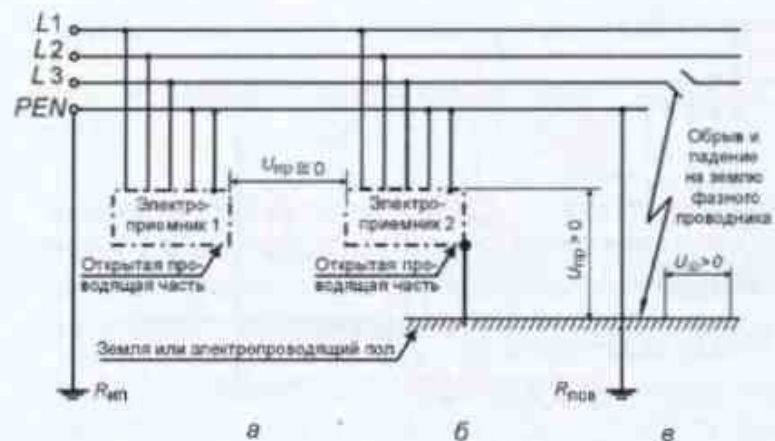


Рис. П. 2.4. Сеть TN-C с замыканием на землю, например оборванным и упавшим на землю фазным проводником

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участке б) и шаговые напряжения на участках б) и в) могут длительно принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

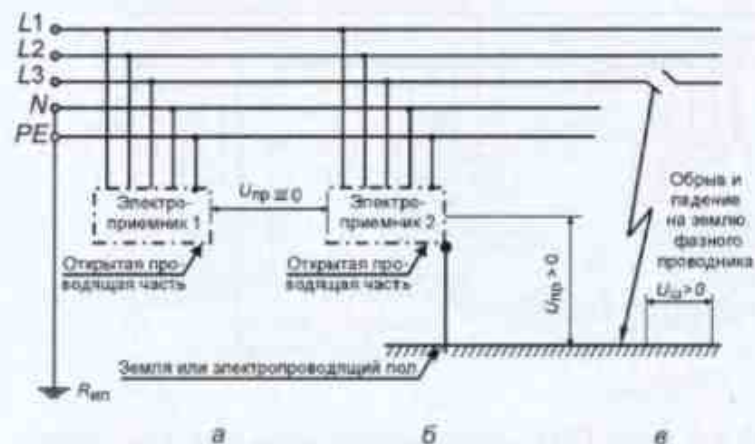


Рис. П. 2.5. Сеть TN-S с замыканием на землю, например оборванным и упавшим на землю фазным проводником

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участке б) и шаговые напряжения могут длительно принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

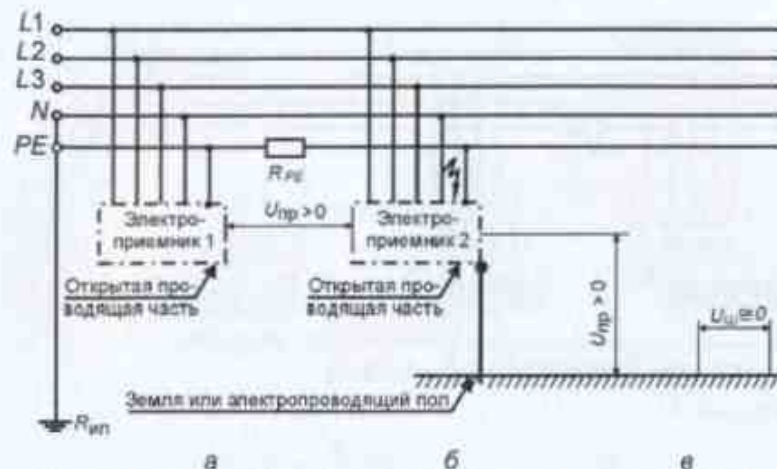


Рис. П. 2.6. Сеть TN-S с однофазным замыканием на корпус

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а) б) и шаговые напряжения на участке б) могут длительно принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

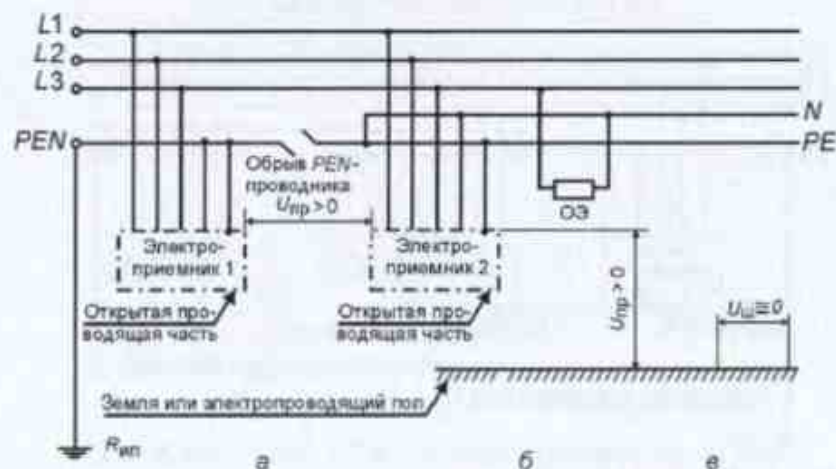


Рис. П. 2.7. Сеть TN-C-S с обрывом PEN-проводника

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а) б) и шаговые напряжения на участке б) могут длительно принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

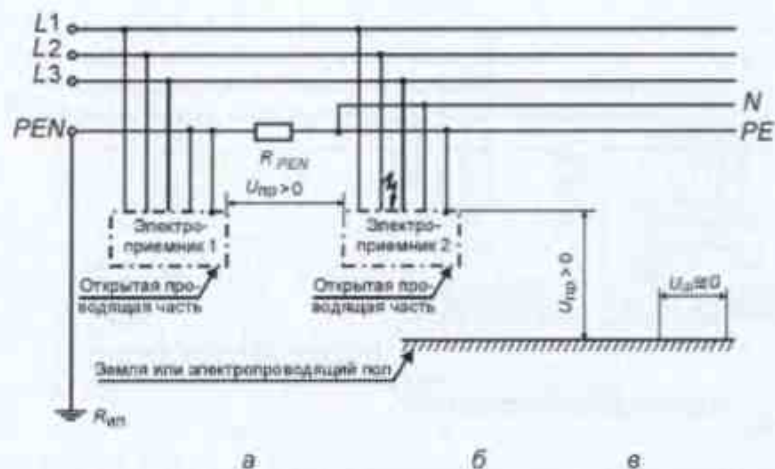


Рис. П. 2.8. Сеть TN-C-S с однофазным замыканием на корпус после точки разделения PEN-проводника

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а), б) и шаговые напряжения на участке в) могут до момента срабатывания защиты принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

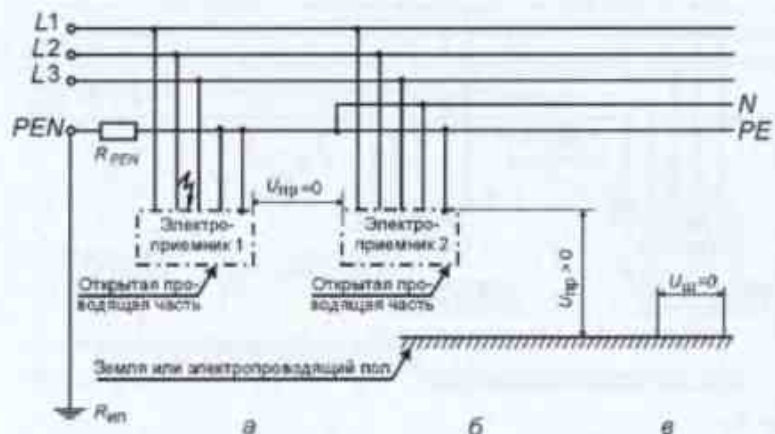


Рис. П. 2.9. Сеть TN-C-S с однофазным замыканием на корпус до точки разделения PEN-проводника на N- и PE-проводники

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участке б) могут до момента срабатывания защиты принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

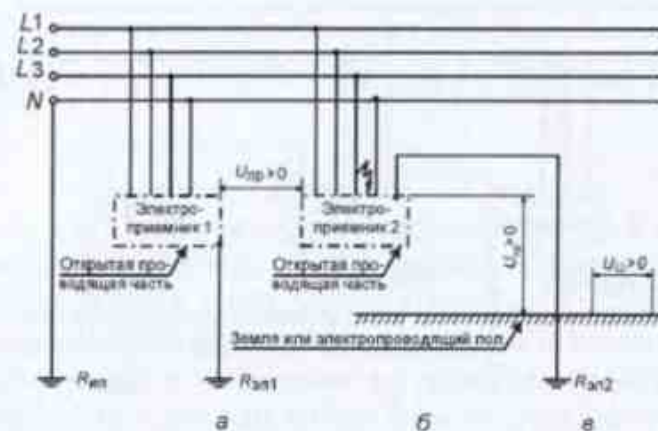


Рис. П. 2.10. Сеть TT с нулевым рабочим проводником с однофазным замыканием на корпус

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а), б) и шаговые напряжения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

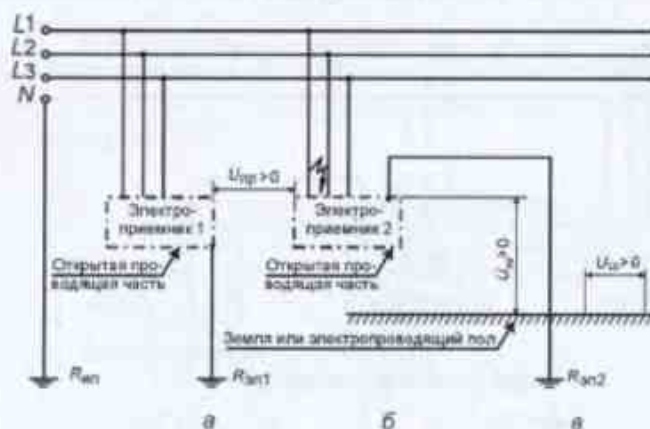


Рис. П. 2.11. Сеть TT без нулевого рабочего проводника с однофазным замыканием на корпус

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а), б) и шаговые напряжения на участках б) и в) могут до момента срабатывания защиты принимать значения, при которых возможно смертельное поражение электрическим током

ПРОВЕРКА РАБОТЫ УЗО ПО ГОСТ Р 50571.16-99 [80]

Метод 1

На рисунке П. 3.1 представлена схема, по которой осуществляется проверка работы УЗО методом, рекомендованным стандартом ГОСТ Р 50571.16-99 (МЭК 60364-6-61-86) [80]. Рекомендательный метод основан на создании искусственной цепи тока утечки и регулировании этого тока переменным резистором, включенным между фазным проводником на стороне нагрузки и открытой проводящей частью. Ток увеличивают путем уменьшения сопротивления регулируемого резистора R_p .

Ток I_s , при котором УЗО срабатывает, не должен быть больше номинального тока срабатывания $I_{\Delta n}$.

Примечание: Этот метод может быть использован для систем TN-S, TT и IT. В системе IT может быть соединение точки схемы с землей при проведении испытания, необходимое для срабатывания УЗО.

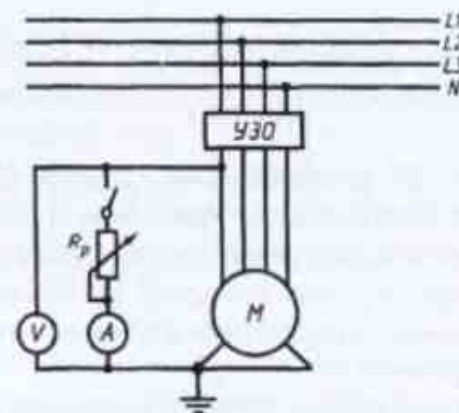


Рис. П. 3.1. Схема проверки УЗО по методу 1

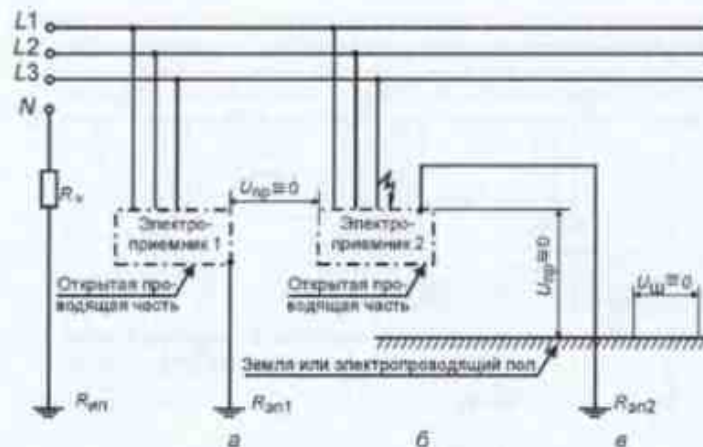


Рис. П. 2.12. Сеть IT с заземлением нейтрали источника питания через сопротивление с однофазным замыканием на корпус

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а), б) и шаговые напряжения на участках б) и в) близки к нулю

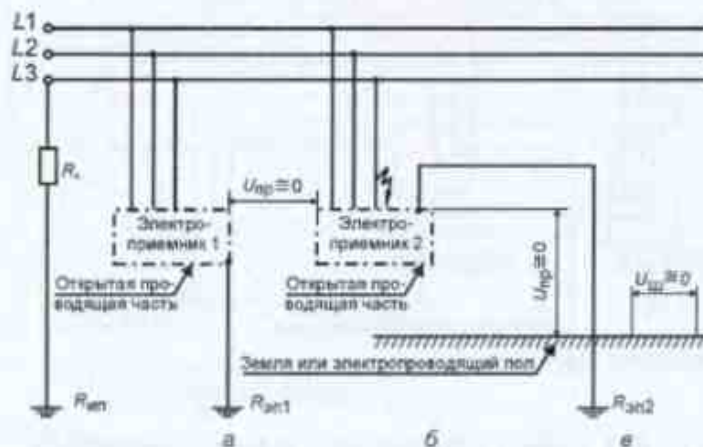


Рис. П. 2.13. Сеть IT с заземлением фазы источника питания через сопротивление с однофазным замыканием на корпус

В рассматриваемом аварийном режиме напряжения прикосновения на участках а), б) и шаговые напряжения на участках б) и в) близки к нулю

Метод 2

На рисунке П. 3.2 показана схема, поясняющая метод 2 проверки УЗО, при котором регулируемое сопротивление присоединяют между одним проводником (фазным или нулевым рабочим) на стороне питания и другим проводником (нулевым рабочим или фазным) на стороне нагрузки. Ток увеличивают путем уменьшения сопротивления регулируемого резистора R_p .

Ток I_{Δ} , при котором УЗО срабатывает, не должен быть больше $I_{\Delta n}$. Нагрузка во время испытания должна быть отсоединена.

Примечание: Метод 2 может быть использован для систем TN-S, TT и IT.

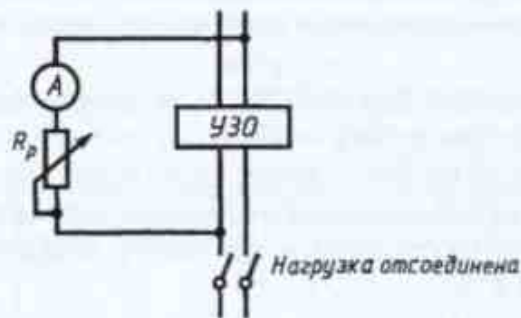


Рис. П. 3.2. Схема проверки УЗО по методу 2

Метод 3

На рисунке П. 3.3 показана схема проверки УЗО методом, основанном на использовании вспомогательного электрода. Ток увеличивают путем уменьшения сопротивления регулируемого резистора R_p , затем измеряют напряжение U между открытыми проводящими частями и независимым вспомогательным электродом.

Измеряют также ток I_{Δ} , который не должен быть больше $I_{\Delta n}$, при котором УЗО срабатывает.

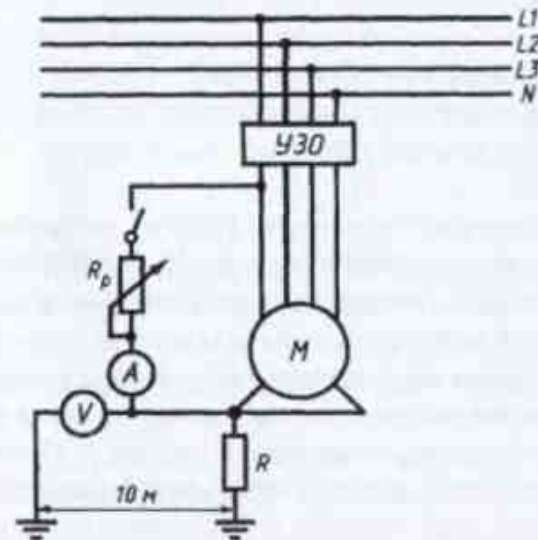


Рис. П. 3.3. Схема проверки УЗО по методу 3

Должно быть выполнено следующее условие

$$U \leq U_L \frac{I_{\Delta}}{I_{\Delta n}},$$

где U_L — предельное нормируемое напряжение прикосновения, В.

1. Метод 3 может быть использован только в том случае, если расположение электроустановки позволяет использовать вспомогательный электрод.

2. Метод 3 может быть использован для систем TN-S, TT и IT. В системе IT может быть необходимым при проведении испытаний соединение точки системы с землей для обеспечения срабатывания УЗО.

Примечание:

Данный материал (текст и схемы) из стандарта ГОСТ Р 50571.16-99 приведен для полноты информации о существующих официальных документах, регламентирующих правила

эксплуатации и проверки УЗО. Очевидно, что эти методы довольно просты и не требуют применения сложных измерительных приборов.

В настоящее время для выполнения такой проверки производятся специальные приборы – например, АСТРО*ТЕСТ (раздел 7.2.5).

Следует отметить, что проверка УЗО, осуществляемая этими методами, позволяет установить лишь факт работоспособности устройств и определить только один параметр — номинальный отключающий дифференциальный ток — $I_{\Delta n}$, а этого явно недостаточно. Кроме того, эти методы применимы для проверки УЗО только типа АС, поскольку для типов А и В требуются специальные приборы — например, прибор АСТРО*ПРОФИ производства ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ (раздел 7.2.6).

УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ»

1. Назначение.

Учебный лабораторный стенд «Устройства защитного отключения» предназначен для обеспечения учебного процесса в высших и средних специальных учебных заведениях по курсу «Безопасность жизнедеятельности», курсах переподготовки и повышения квалификации электротехнического персонала, комплектации учебных классов энергопредприятий.

Стенд производится серийно ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ по предварительным заявкам. На лабораторном стенде выполняется лабораторная работа «Устройства защитного отключения. Назначение, технические параметры, испытания»

2. Цель работы.

Изучение назначения, принципа действия, конструкции и основных технических характеристик устройств защитного отключения (УЗО).

3. Содержание работы.

3.1. Измерение отключающего дифференциального тока I_{Δ} в зависимости от формы дифференциального тока (синусоидального и пульсирующего постоянного).

3.2. Измерение времени отключения УЗО при включении его на дифференциальный ток (одно-, двух- и пятикратный).

3.3. Измерение времени отключения УЗО при различных токах нагрузки.

3.4. Исследование работоспособности УЗО в электроустановке здания при различных «фоновых» токах утечки на землю.

3.5. Проверка работоспособности УЗО, независимого от напряжения питания, при обрыве нулевого проводника.

4. Описание лабораторного стенда.

В целях обеспечения условий электробезопасности при выполнении лабораторной работы, питание стенда осуществляется от автономного источника питания, имеющего гальваническую развязку с сетью.

В центральной части лицевых панелей представлены мнемосхемы, поясняющие принцип работы УЗО (рис. П. 4.1).

Работа состоит из двух частей:

I. Исследование характеристик двухполюсного УЗО.

Выполняется на панели «А».

II. Исследование работы четырехполюсного УЗО в составе электроустановки.

Выполняется на панели «Б».



Рис. П. 4.1. Внешний вид лабораторного стенда

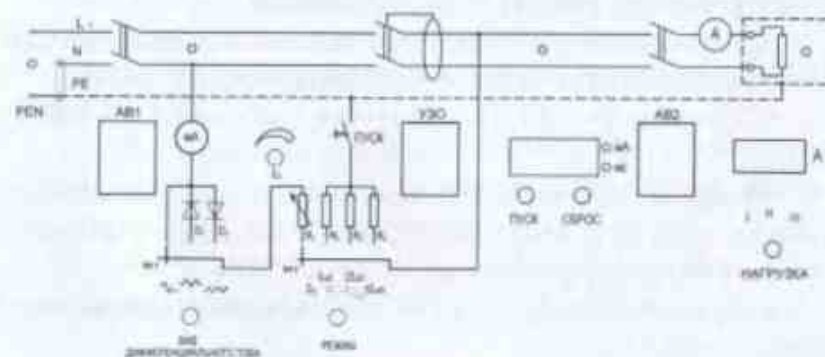


Рис. П. 4.2. Панель «А»

На панели «А» (рис. П. 4.2) расположены:

- двухполюсное устройство защиты от сверхтоков (автоматические выключатели с характеристикой *B*) «АВ1»;
- УЗО типа Ф-2211 производства ЗАО «АСТРО-УЗО»—МЭИ;
- двухполюсное устройство защиты от сверхтоков (автоматические выключатели с характеристикой *B*) «АВ2»;
- переключатель нагрузки «/и»;
- регулятор дифференциального тока «/Δ»;
- цифровой миллиамперметр для измерения дифференциального тока «/Δ»;
- электронный секундомер «ВРЕМЯ»;
- кнопка запуска счета времени электронного секундомера «ПУСК»;
- кнопка сброса показаний электронного секундомера «СБРОС»;
- переключатель формы дифференциального тока «ДИФФ. ТОК»;
- переключатель режима измерений «РЕЖИМ», вольтметр «Uс», амперметр «Iи».

На панели «Б» (рис. П. 4.3) расположены:

- четырехполосное устройство защиты от сверхтоков (автоматический выключатель с характеристикой *B*) «AB1»;
- УЗО типа Ф-1212 производства ЗАО «АСТРО-УЗО»-МЭИ;
- четырехполосное устройство защиты от сверхтоков (автоматический выключатель с характеристикой *B*) «AB2»;
- регулятор дифференциального тока « I_{Δ} »;
- цифровой миллиамперметр для измерения дифференциального тока « I_{Δ} »;
- переключатель фаз «ФАЗА»;
- кнопка для замыкания цепи утечки тока «УТЕЧКА»;
- выключатель для разрыва нулевого проводника « S_1 »;
- переключатель вариантов нагрузки «ВАРИАНТ».

5. Результаты работы.

5.1. Изучение принципа действия УЗО.

5.2. Изучение технических параметров УЗО, характеризующих его качество и надежность.

5.3. Проверка отключения УЗО при воздействии различных отключающих дифференциальных токов.

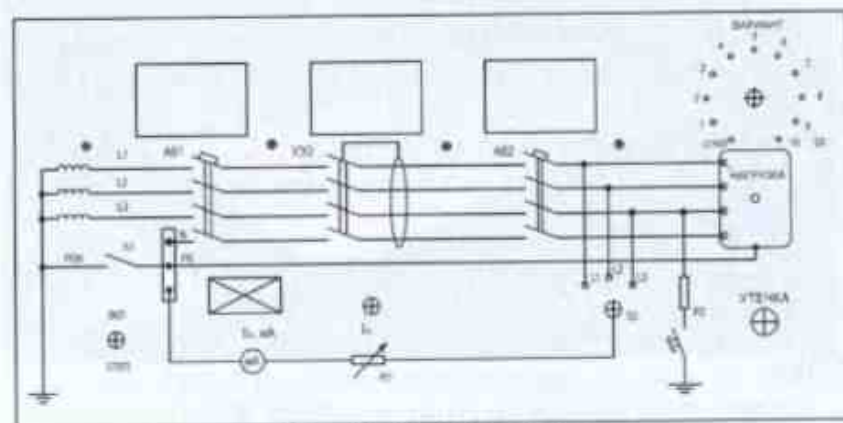


Рис. П. 4.3. Панель «Б»

5.4. Оценка быстродействия УЗО путем измерения времени срабатывания в различных режимах.

5.5. Оценка влияния тока нагрузки на точность работы УЗО.

5.6. Исследование работоспособности УЗО в составе электроустановки здания (выбор уставки УЗО в зависимости от значения «фонового» тока утечки).

5.7. Особенности применения УЗО в различных типах заземления систем (*TN-S*, *TT*, *IT*, *TN-C-S*, *TN-C*).

Таблица П. 4.1

Технические параметры лабораторного стенда

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	220 ^{+5%} _{-10%}
2	Потребляемая мощность, Вт	100
3	Регулируемый дифференциальный ток (синусоидальный и пульсирующий постоянный), мА	3 ... 42
4	Установка номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta n}$, мА	30, 60, 150
5	Установка тока нагрузки, А	2, 4, 8
6	Установка тока утечки, мА	1 ... 18
7	Диапазон измерения дифференциального тока, мА	0,1 ... 250
8	Диапазон измерения времени отключения, мс	0,1 ... 9 999,9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.009-76 (Перизд. 1999г.) Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
2. Холодов Ю.А., Козлов А.Н., Горбач А.М. Магнитные поля биологических объектов. М.: Наука, 1987.
3. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям//Физиология человека, 1975, Т.1, № 1.
4. ГОСТ 12.1.038-82 (Перизд. 2001г.) ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
5. C.F. Dalziel Deleterious effects of electric shock. Meeting of experts on electrical accidents and related matters. Geneva, 23-31 October 1961.
6. G. Biegelmeier, D. Kieback, G. Kiefer, K. Krefter Schutz in elektrischen Anlagen. VDE Verlag 2003 289 S.
7. Carl R. Nave Department of Physics and Astronomy, Georgia State University, Atlanta, Georgia, Hyper Physics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/shock.html#c1>.
8. IEC/TS 60479-1 Ed. 4.0 b: 2005 Effects of current on human beings and livestock — Part 1: General aspects. 117 p.
9. Коструба С.И. Стохастическое моделирование систем обеспечения электробезопасности. — Электричество, 2003, № 6.
10. Коструба С.И. Моделирование систем обеспечения электробезопасности методом Монте-Карло. — Электричество, 2004, № 7.
11. ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. Дата введения 2002.01.01.
12. ГОСТ Р 50571.3-94 (МЭК 364-4-41-92). Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
13. Правила устройства электроустановок/Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.
14. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание. — М.: ЗАО «Энергосервис», 2002. — 280 с.
15. ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.
16. ГОСТ Р МЭК 536-94. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током. Введен в действие 11.03.94.
17. ГОСТ Р МЭК 60536-2-2001. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током. Часть 2. Руководство для пользователей по защите от поражения электрическим током.
18. ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики.
19. Петухов В.С. и др. Коррозионные повреждения трубопроводов зданий, вызванные протеканием по ним токов. — М.: Практика противокоррозионной защиты, №4 (10), 1998.
20. Григорьев О.А., Петухов В.С., Соколов В.А. и др. Неисправности систем электроснабжения зданий ускоряют коррозию трубопроводов. — Новости электротехники № 4(22) 2003 г.
21. МЧС России Официальный сайт, статистика <http://www.mchs.gov.ru/article..>
22. Смелков Г.И., Пехотиков В.А., Рябиков А.И. Проблемы обеспечения пожарной безопасности кабельных потоков. — Кабели и провода №2 (291) 2005 г.
23. Patentschrift № 552678, Klasse 21c, Gruppe 68, 08.04.28 Schutzschaltung zur Sicherung von Menschen und Tieren gegen Schaden durch Berührung eines spannungsführenden Leiters eines Niederspannungsnetzes.
24. G. Kiefer VDE 0100 und die Praxis. — VDE Verlag, Berlin, 2001, ISBN 3-8007-2581-9.
25. P. Bryner, J. Schmucki Sicherheit in elektrischen Anlagen. — AZ Fachverlage AG, Aarau, 2004 ISBN 3-905214-41-5.
26. Шипунов Н. В. Защитное отключение. — М.: Энергия, 1968. — 159 с.
27. Монаков В.К. Электробезопасность. «Итоги науки и техники» ВИНТИ АН СССР. Сер. «Общие вопросы и теоретические основы электротехники». 1980, 1, 112 с., библиограф. 393.
28. Ревякин А.И., Осинковский А.И. Автоматические меры защиты в электроустановках. Изд. МЭИ 1976, 42 с.

29. **ГОСТ Р 50807-95.** Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний.

30. **ГОСТ Р 51326.1-99.** Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.

31. **ГОСТ Р 51327.1-99.** Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.

32. **ГОСТ Р 50571.26-2002.** Выбор и монтаж электрооборудования. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений.

33. **Referat K 221 DKE** Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, 2005.

34. **МЭК 364-5-53** Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Коммутационная аппаратура и аппаратура управления.

35. **A. Mörx** Die neue Installations-Norm ÖNORM/ÖVE E 8001 ERN-e-Jornal, № 5/2000.

36. **ГОСТ Р 50669-94.** Электроснабжение и электробезопасность мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом для уличной торговли и бытового обслуживания населения. Технические требования.

37. **Временные указания** по применению устройств защитного отключения в электроустановках жилых зданий. И.П. Главгосэнергонадзора России от 29.04.97 № 42-6/9-ЭТ.

38. **ГОСТ Р 50571.17-2000 (МЭК 60364-4-482-82).** Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 48. Выбор мер защиты в зависимости от внешних условий. Раздел 482. Защита от пожара.

39. **ГОСТ Р 50345-99.** Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения.

40. **ГОСТ Р 50030.1-92.** Низковольтная аппаратура распределения и управления. Ч.1. Общие требования.

41. **НПБ-243-97.** Нормы пожарной безопасности. Устройства защитного отключения. Требования безопасности. Методы испытаний.

42. **НПБ 179-99.** Пожарная техника. Устройства защитного отключения для пожарных машин. Общие технические требования. Методы испытаний.

43. **ГОСТ ISO/МЭК 15420-2001.** Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификация символики EAN/UPC.

44. **ГОСТ Р 50030.1-2000 (МЭК 60947-1-99)** взамен **ГОСТ Р 50030.1-92 (МЭК 947-1-88).** Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний.

45. **IEC 364-5 Part 5.** Selection and erection of electrical equipment, 364-5-53 Chapter 53. Switchgear and controlgear 1986, 364-5-53-2 Amendment No. 1, 1992.

46. **ГОСТ Р 50030.2-94.** Низковольтная аппаратура распределения и управления. Часть 2. Автоматические выключатели.

47. **ГОСТ 28249-93.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

48. **ГОСТ 28895-91.** Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического нагрева.

49. **ГОСТ Р 50571.5-94.** Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока.

50. **J. Kämpfe** 20 Jahre Fehlerstrom-Schutzschaltung in VDE-Vorschriftenwerk, Elektromeister + Dtsch. Elektrohandwerk, 1978, 31/51, № 16.

51. **ГОСТ Р 50571.9-94.** Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков.

52. **Сошников А. А.** Пожарная безопасность электроустановок зданий. Проблемы и перспективы. http://aomai.ab.ru:8080/Books/Files/1999-03/HTML/07/pap_07.html.

53. **Проект «Технического регламента электрической безопасности в электроэнергетике».** — Вестник Технического Регулирования, 2004 г. № 1, с. 44-64.

54. **ГОСТ Р 51328-99 (МЭК 61540-97).** Устройства защитного отключения переносные бытового и аналогичного назначения, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтоков (УЗО-Д). Общие требования и методы испытаний. Введен в действие 01.01.2001 г.

55. **СНиП 31-02-2001.** Дома жилые многоквартирные.

56. СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные. Взамен СНиП 2.08.01-89.
57. Свод правил по проектированию и строительству СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Начало действия: 01.01.2004, взамен: ВСН 59-88 Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования.
58. Правила технической эксплуатации электроустановок. Введены в действие 1 июля 2003 г. взамен Правил эксплуатации электроустановок потребителей (5-е изд., 1999 г.).
59. ГОСТ 12.4.155-85 ССБТ. Устройство защитного отключения. Классификация. Общие технические требования. Дата введения 1986-01-01.
60. IEC 62305-1—Ed. 1.0 Protection against lightning—Part 1: General principles 2006-01 p. 135 [LIGHTNING PROTECTION].
61. IEC 62305-2—Ed. 1.0 Protection against lightning—Part 2: Risk management 2006-01 p. 212.
62. IEC 62305-3—Ed. 1.0 Protection against lightning—Part 3: Physical damage to structures and life hazard 2006-01 p. 296.
63. IEC 61024-1 (1990-04) Protection of structures against lightning—Part 1: General principles.
64. IEC 61024-1-1 (1993-09) Protection of structures against lightning—Part 1: General principles—Section 1: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems.
65. IEC 61024-1-2 (1998-05) Protection of structures against lightning—Part 1-2: General principles—Guide B—Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems.
66. IEC 61312-1 (1995-03) Protection against lightning electromagnetic impulse—Part 1: General principles.
67. IEC/TS 61312-2 (1999-08) Protection against lightning electromagnetic impulse (LEMP) - Part 2: Shielding of structures, bonding inside structures and earthing.
68. IEC/TS 61312-3 (2000-07) Protection against lightning electromagnetic impulse—Part 3: Requirements of surge protective devices (SPDs).
69. IEC/TS 61312-4 (1998-09) Protection against lightning electromagnetic impulse—Part 4: Protection of equipment in existing structures.

70. IEC/TR2 61662 (1995-04) Assessment of the risk of damage due to lightning.
71. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М.: Издательство МЭИ, 2004. — 57 с.
72. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
73. Кужекин И.П., Ларионов В.П., Прохоров Е.Н. Молния и молниезащита. — М.: «Знак», 2003 г., 330 с.
74. ГОСТ 1516.2-97. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.
75. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. Введен в действие 28.12.1999 г. Взамен ГОСТ 30374-95 / ГОСТ Р 50007-92.
76. ГОСТ Р 51992-2002 (МЭК 61643-1-98). Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Часть 1. Требования к работоспособности и методы испытаний. Введен в действие 25.12.2002 г., 48 с.
77. IEC 61643-12 Ed. 1.0 Low-voltage surge protective devices—Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems—Selection and application principles 2002-02 237 p. TC-37A «Low-voltage surge protective devices».
78. Зоричев А.Л. Молниезащита: зонавая концепция. — Новости электротехники, 2004, № 3 (27) с. 12–14.
79. ГОСТ Р 50571.19-2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.
80. ГОСТ Р 50571.16-99 (МЭК 60364-6-61-86). Электроустановки зданий. Часть 6. Испытания. Глава 61. Приемочные испытания. Приложение В.
81. NF EN 61647-331-2003 Components for low-voltage surge protective devices—Part 331: specification for metal oxide varistors (MOV).

СОДЕРЖАНИЕ

82. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

83. **Монаков В.К., Старшинов В.А.** Устройства защитного отключения. Учебно-справочное пособие—М.: «Энергосервис» 2005, 229 с.

84. ÖVE-EN 1, Teil 4, § 56, 1993-05 Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V. Besondere Anlagen.

85. **G. Figini, U. Torelli** Impianti elettrici civili.— Hoepli editore 2000 Milano, 719 p.

86. ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. Переиздание (август 2001 г.)

87. **Правила устройства электроустановок.** Шестое издание. Дополненное с исправлениями.—М.: ЗАО «Энергосервис», 2006.—440 с.

88. ГОСТ Р 50571.8-94 (МЭК 364-4-47-81). Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током.

89. ГОСТ Р 50571.11-96 (МЭК 364-7-701-84). Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 701. Ванные и душевые помещения.

90. ГОСТ Р 50571.23-2000. Часть 7. Электроустановки строительных площадок.

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ.	6
1.1. Общие положения	6
1.2. Критерии электробезопасности	7
1.3. Основные принципы защиты от поражения электрическим током	20
1.4. Классификация помещений по степени опасности поражения людей электрическим током	31
1.5. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками	33
1.6. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током	38
1.7. Схемы электроустановок зданий	45
1.7.1. Системы заземления.	47
1.7.2. Устройство системы TN-C-S в системе TN-C	57
1.7.3. Система уравнивания потенциалов.	58
2. УЗО—ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЕ И ЭЛЕКТРОЗАЩИТНОЕ СРЕДСТВО	64
2.1. Назначение устройств защитного отключения.	64
2.2. Принцип действия УЗО	88
2.3. Виды УЗО	93
2.4. Применение различных видов УЗО.	96
2.5. Конструкция УЗО.	115
2.6. Основные нормируемые параметры УЗО.	120
2.7. Технические параметры типовых УЗО	122
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЗО.	127
3.1. Общие положения	127
3.2. Номинальное напряжение U_n	130

3.3. Номинальное напряжение изоляции U_i	130
3.4. Номинальный ток I_n	131
3.5. Номинальная частота f_n	133
3.6. Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$	133
3.7. Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta no}$	138
3.8. Номинальное время отключения T_n	139
3.9. Предельное значение сверхтока неотключения I_{sm}	142
3.10. Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_m	143
3.11. Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta m}$	144
3.12. Номинальный условный ток КЗ I_{sc}	144
3.13. Номинальный условный дифференциальный ток КЗ $I_{\Delta sc}$	147
3.14. Характеристика Rt (интеграл Джоуля)	148
3.15. Номинальная наибольшая коммутационная способность I_{cm}	155
3.16. Рабочая наибольшая отключающая способность I_{cr}	156
4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗО	157
4.1. Нормальные условия эксплуатации	157
4.2. Превышение температуры	158
4.3. Степень защиты	159
4.4. Функция разъединения	159
4.5. Электроизоляционные свойства	161
4.6. Коммутационная и механическая износостойкость	162
4.7. Контрольное устройство	165
4.8. Схемы подключения УЗО	166
4.9. Устойчивость УЗО к импульсным напряжениям	167
4.10. Требования пожарной безопасности	168
4.11. Маркировка и дополнительная информация	171
4.12. Документация на УЗО	173
4.13. Дополнительные устройства и принадлежности	175
4.13.1. Вспомогательные контакты	175
4.13.2. Дистанционный привод	176
4.14. Специальные типы УЗО	178

5. КООРДИНАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ	184
5.1. Защита электроустановки	184
5.2. Выбор автоматических выключателей и предохранителей	189
5.3. Расчет максимального и минимального ожидаемого тока КЗ	190
5.4. Защита от токов перегрузки	194
5.5. Защита УЗО	195
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ УЗО	200
6.1. Общие требования	200
6.2. Нормативная база применения УЗО	203
6.2.1. Требования ПУЭ и нормативных документов по применению УЗО в электроустановках	203
6.2.2. Требования ПУЭ по применению УЗО для защиты переносных электроприемников	214
6.2.3. Требования ПУЭ по применению УЗО в передвижных электроустановках	215
6.2.4. Требования ПУЭ по применению УЗО в электроустановках помещений для содержания животных	217
6.3. Место установки УЗО	219
6.4. Применение УЗО при различных системах заземления сетей	220
6.5. Селективность работы УЗО	229
6.6. Выбор типа УЗО	233
6.7. Схемы подключения УЗО в электроустановках зданий	234
6.8. УЗО как противопожарное средство	250
7. МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ УЗО В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ	261
7.1. Монтаж УЗО	261
7.2. Контроль работоспособности УЗО в составе электроустановки	262
7.2.1. Схема измерений	262

7.2.2. Определение порога срабатывания (дифференциального отключающего тока— I_{Δ}) УЗО.	262
7.2.3. Измерение тока утечки в зоне защиты УЗО	264
7.2.4. Устройство измерения дифференциального тока АСТРО* I_{Δ}	265
7.2.5. Устройство контроля исправности УЗО— АСТРО*ТЕСТ	270
7.2.6. Прибор контроля УЗО АСТРО*ПРОФИ.	274
7.3. Типичные ошибки при монтаже УЗО.	276
7.4. Эксплуатационный контроль УЗО.	278
7.5. Анализ причин срабатывания УЗО и алгоритм поиска неисправности в электроустановке.	280
7.6. Порядок контроля УЗО при сертификации электроустановок	282
7.6.1. Проверка технической документации на УЗО.	282
7.6.2. Проверка правильности выбора места установки и параметров УЗО в схеме электроустановки	283
7.6.3. Проверка правильности монтажа УЗО.	284
7.6.4. Проверка работоспособности УЗО.	284
7.6.5. Меры безопасности	285
7.6.6. Документальное оформление контроля УЗО (протокол)	285
7.7. Приемно-сдаточные и сертификационные испытания УЗО	288
7.7.1. Требования стандартов по испытаниям УЗО	288
7.7.2. Испытания электрической прочности изоляции УЗО	292
7.7.3. Испытания функциональных характеристик УЗО.	294
8. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ, ОБНАРУЖЕНИЕ ЕЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ	299
9. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ	309
9.1. Общие положения	309
9.2. Зоны защиты от воздействия молнии.	310
9.3. Испытательные импульсы	313

9.4. Устройства защиты от перенапряжений	320
9.5. Технические параметры устройств защиты от перенапряжений	324
9.6. Ограничитель перенапряжений АСТРО*ОПН-12/0,4	327
9.7. Устройство защиты от перенапряжений АСТРО*УЗП-8/D	334

Приложение 1. Перечень зданий, сооружений и предприятий, электроустановки которых сертифицируются согласно Правилам «Системы сертификации электроустановок зданий». 338

Приложение 2. Схемы электрических сетей с примерами повреждений, учитываемыми при выборе и обосновании мер защиты от поражения электрическим током при наличии неисправности (по ГОСТ Р МЭК 61140-2000, Приложение В) 340

Приложение 3. Проверка работы УЗО по ГОСТ Р 50571.16-99 347

Приложение 4. Учебный лабораторный стенд «Устройства защитного отключения» 351

Список литературы 356