

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-справочное пособие разработано Научно-методическим центром проблем электротехнических устройств Московского энергетического института (технического университета) — НМЦ ПЭУ МЭИ для использования в качестве учебного пособия при обучении и переподготовке электротехнического персонала по вопросам обеспечения электробезопасности электроустановок.

Справочный материал Пособия, основанный на новых нормативных документах, предназначен для использования специалистами при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации электроустановок жилых, общественных и производственных зданий с применением устройств защитного отключения (УЗО).

Пособие предназначено также для работников органов сертификации, сертификационных испытательных лабораторий, специалистов проектных, электромонтажных, эксплуатационных организаций, работников Госэнергонадзора, Госпожнадзора, Энергосбыта и других организаций, а также частных лиц, деятельность которых тем или иным образом связана с решением проблем электро- и пожаробезопасности.

Данное Пособие 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 Пособии приведены новейшие сведения о нормативно-правовой базе применения УЗО, технических требованиях, порядке проектирования, проведения и документального оформления испытаний электроустановок с применением УЗО.

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 устройств защитного отключения, материал которых составил основу настоящего Пособия.

Авторский коллектив выражает благодарность специалисту первой категории Госэнергонадзора В.В.Шатрову, завотделом «РОСТЕСТ» А.В.Пешкову, главному специалисту АО «РОСЭП» В.Н.Харечко, начальнику отдела электрооборудования ФГУ ВНИИПО МЧС России В.А.Пехотинову, завгруппой ЦНИИЭП инженерного оборудования М.Г.Матвеевой, проф. МГУПС (МИИТ) Б.И.Косареву, проф. МИРЭА В.К.Битюкову, проф. МГА С.А.Редкозубову, проф. МГОУ В.С.Азарову, проф. ВАРВСН им. Петра Великого А.А.Гурову, доцентам и научным сотрудникам МЭИ — Ю.Н.Балакову, Ю.П.Гусеву, А.И.Пойдо, В.С.Петухову, начальнику отдела ВЭИ Г.Г.Лаврентьеву, ученому секретарю фонда им. В.И.Вернадского А.И.Ревякину, директору ГП ОПЗ МЭИ В.М.Белову, директору ООО «ПП ОПУС» Пудикову А.Н., главному инженеру ЗАО «Инженер-сервис» О.В.Кондратьеву и другим за ценные замечания и предложения, сделанные ими по предыдущему изданию.

Предложения к следующему изданию Пособия просим направлять в Научно-методический центр проблем электротехнических устройств Московского энергетического института (технического университета) — НМЦ ПЭУ МЭИ, 111116, Москва, Энергетический проезд, д. 6. Тел./факс: (095) 362-7931, 362-7173, 362-7491.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УЗО

Настоящее учебно-справочное пособие предназначено для использования в учебном процессе в высших и средних специальных учебных заведениях при изучении раздела курса «Безопасность жизнедеятельности», в системе повышения квалификации при обучении и переподготовке электротехнического персонала. Справочный и методический материал данного Пособия предназначен для использования специалистами при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации электроустановок промышленного и социально-бытового назначения с применением УЗО.

В последние годы в нашей стране внедрение УЗО ведется весьма интенсивно — УЗО оснащаются в обязательном порядке все вновь строящиеся и реконструируемые жилые здания, действует требование обязательного применения УЗО при эксплуатации электроприборов и электроинструментов в особо опасных помещениях, не допускаются к эксплуатации мобильные здания из металла или с металлическим каркасом для уличной торговли и бытового обслуживания населения, не оснащенные УЗО, и т.д. УЗО применяется для комплектации вводно-распределительных устройств (ВРУ), распределительных щитов (РЩ), групповых щитков (квартирных и этажных), а также для защиты отдельных потребителей электроэнергии.

Область применения УЗО достаточно широка – это электроустановки:

общественных зданий — детских дошкольных учреждений, школ, профессионально-технических, средних, специальных и высших учебных заведений, гостиниц, медицинских учреждений, больниц, санаториев, мотелей, библиотек, крытых и открытых спортивных и физкультурно-оздоровительных учреждений, бассейнов, саун, театров, клубов, кинотеатров, магазинов, предприятий общественного питания и бытового обслуживания, торговых павильонов, киосков и т.п.;

жилых зданий — индивидуальных и многоквартирных, коттеджей, дач, садовых домиков, общежитий, бытовых помещений и т.п.;

административных зданий, производственных помещений — мастерских, АЗС, автомоек, ангаров, гаражей, складских помещений и т.д.;

промышленных предприятий — предприятий по производству и распределению электроэнергии, железнодорожных предприятий, горной, нефтедобывающей, сталеплавильной, химической промышленности, взрывоопасного производства и мн. др.

Применение УЗО целесообразно и оправдано по социальным и экономическим причинам в электроустановках всех возможных видов и самого различного назначения.

Затраты на установку УЗО несоизмеримо меньше возможного ущерба — гибели и травм людей от поражения электрическим током, возгораний, пожаров и их последствий, произошедших из-за неисправностей электропроводки и электрооборудования. Если учесть, что стоимость одного УЗО не превышает стоимости простого бытового электроприбора, а возможный ущерб, которого можно было бы избежать, если бы УЗО было бы установлено, исчисляется огромными суммами, то становится совершенно очевидной и не требующей дополнительных доказательств необходимость скорейшего и самого широкого внедрения УЗО нового поколения во всех электроустановках.

Исключения составляют электроустановки, не допускающие по технологическим причинам перерыва в электроснабжении. В таких установках для защиты людей от поражения электрическим током должны применяться другие электротехнические меры — контроль изоляции, разделительные трансформаторы и др.

Органы Госэнергонадзора, Государственного пожарного надзора и Энергосбыта согласовывают проектную документацию, осуществляют сертификацию электроустановок жилых домов, приемку объектов в эксплуатацию только при условии обязательного использования УЗО.

В Пособии приведены сведения о требованиях, порядке и методике проверки УЗО при сертификации электроустановок зданий. Перечень сертифицируемых электроустановок зданий, сооружений и предприятий приведен в Приложении 1.

Пособие составлено с учетом требований действующих нормативных документов:

- ГОСТ Р 50807-95 «Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний»;
- 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»;
- 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»;
- ГОСТ Р МЭК 61140-2000 «Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи»;
- комплекс стандартов ГОСТ Р 50571.1 — ГОСТ Р 50571.23 «Электроустановки зданий».

2. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

2.1. 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, что усугубляет его опасность для человека.

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.

2.2. КРИТЕРИИ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

С самого начала промышленного применения электричества ученые всего мира занимались изучением воздействия электрического тока на человека и последствий этого воздействия.

Большой вклад в изучение этой проблемы внесли известные ученые: Н.Н.Egyptien, L.P.Ferris, D.G.King, Н.В.Williams, W.B.Kouwenhoven, C.F.Dalziel, S.Koeppen, G.Irresberger, Н.Hofherr, J.T.Harley, G. Biegelmeier, E.Reindl, F.Smola, В.J.Simpson, J.Jacobsen, М.Охаси, Т.Кавасэ, А.П.Киселев, В.Е. Манойлов, А.И.Сидоров, Ю.В.Ситчихин, Б.А.Князевский, В.И.Щуцкий и многие др.

В 1950-е годы 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 электропоражении.

Также было установлено, что результат воздействия электрического тока на организм человека зависит не только от значения тока, но и от продолжительности его протекания, пути тока через тело человека, а также,

в меньшей степени, от индивидуальных качеств человека, частоты тока, формы кривой, коэффициента пульсаций и других факторов.

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

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

Сопротивление кожи во влажном состоянии крайне мало — 10-20 Ом. При определении условий электробезопасности в электроустановке за расчетное принято сопротивление тела человека 1000 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).

Ч.Дальцил провел на большой группе добровольцев серию экспериментов по определению электрических параметров тела человека и физиологического воздействия электрического тока на человека (AIEE Technical Paper 46-112).

Результаты его исследований считаются классическими и не потеряли своего значения до настоящего времени. На рис. 2.1 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. 2.2 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).

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

$$I = \frac{165}{\sqrt{T}}, \text{ где:}$$

I — предельно допустимый ток через человека, мА;
T — длительность протекания тока через тело человека, с.

Определенные ГОСТ 12.1.038-82 (с изменениями от 01.07.88) «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» значения тока через тело человека примерно соответствуют этому выражению.

В данном стандарте приведены предельно допустимые напряжения прикосновения и токи через тело человека для путей тока: «рука – рука» и «рука – ноги».

Предельно допустимое напряжение прикосновения в нормальном (неаварийном) режиме электроустановки не должно превышать 2 В.

Предельно допустимый ток частотой 50 Гц, протекающий через тело человека не должен превышать 0,3 мА.

Предельно допустимые значения переменного тока частотой 50 Гц через тело человека в аварийном режиме бытовых электроустановок не должны превышать указанных в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

t, с	0,01 - 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	св. 1,0
I, мА	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

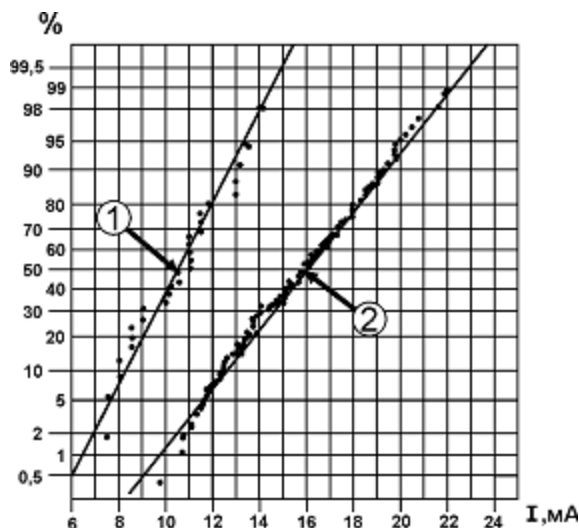


Рисунок 2.1

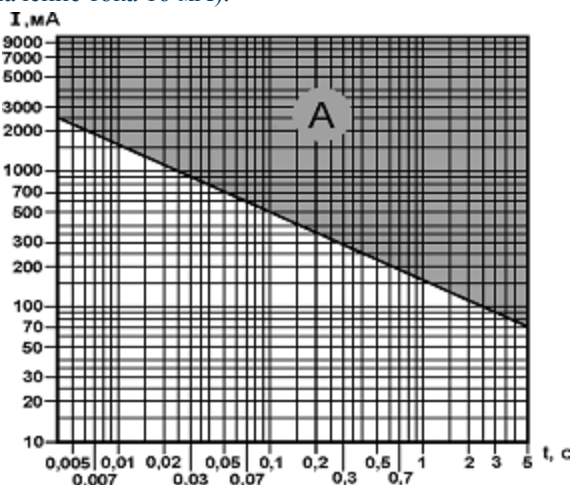


Рисунок 2.2.

Предельно допустимые значения токов через тело человека в аварийном режиме производственных электроустановок не должны превышать указанных в табл. 2.2.

Таблица 2.2.

t, с	0,01 - 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	св. 1,0
переменный ток 50 Гц												
I, mA	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
выпрямленный однополупериодный ток (амплитудное значение)												
I, mA	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	-
выпрямленный двухполупериодный ток (амплитудное значение)												
I, mA	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	-

Известный австрийский ученый Gottfried Biegelmeier, внесший значительный вклад в изучение проблем электробезопасности и разработки и внедрения УЗО, в 1980-е годы провел серию экспериментов, подтвердивших достаточную достоверность принятых в качестве норм расчетных значений сопротивления тела человека.

Целью экспериментов было изучение реакции человека на воздействие электрического тока в реальных условиях — при напряжении 220 В. G. Biegelmeier, используя самую совершенную на тот момент времени измерительную технику, приняв все необходимые меры предосторожности, с большим мужеством и самопожертвованием провел измерение тока через тело человека на самом себе. Одна из полученных им осциллограмм, дающая наглядное представление о значениях тока через тело человека при прямом прикосновении в реальных условиях, приведена на рис. 2.3.

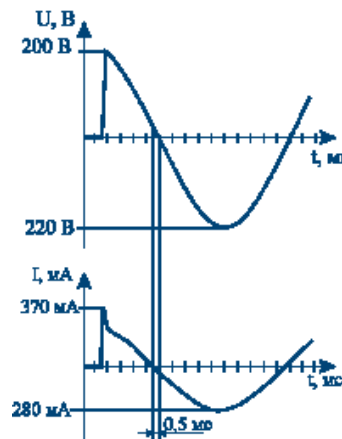


Рис. 2.3. Осциллограмма напряжения, приложенного к телу человека и тока, протекающего через тело человека

2.3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОПОРАЖЕНИЯ

Все существующие электротехнические меры по принципу их выполнения можно разделить на три основные группы:

- обеспечение недоступности для человека токоведущих частей электрооборудования;
- снижение возможного значения тока через тело человека до безопасного значения;
- ограничение времени воздействия электрического тока на организм человека.

Результат действия электрического тока — поражение человека является величиной случайной и определяется целым рядом факторов. Важнейшими из них являются факторы, определяющие состояние оборудования (исправное/неисправное) и человека (прямое/косвенное прикосновение, переходное, внутреннее сопротивление тела человека).

Поражение человека происходит при совпадении двух факторов P(A) и P(B), где:

P(A) — вероятность того, что при прикосновении к электроустановке человек попадет под электрическое напряжение;

P(B) — вероятность того, что количество электричества (т.е. ток и длительность его протекания), проходящее через тело человека, превысит допустимое значение.

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

$$Ph = P(B/A) P(A).$$

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

$$P(A) = P(C) P(D),$$

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:

$$Ph = P(C) P(D) P(B/A).$$

Защитные меры, в зависимости от того, на какой из трех сомножителей выражения, определяющего вероятность поражения Ph, они влияют (уменьшают), делятся на следующие:

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

- оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- подготовка рабочих мест и допуск к работе;
- надзор во время выполнения работы;
- оформление перерывов и переводов на новое рабочее место по окончании работ.

Организационно-технические меры, определяющие P(D):

- 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.

Технические меры защиты, определяющие P(V/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 представляет собой комплекс нормативных и технических документов.

В стандарте ГОСТ Р МЭК 61140-2000 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, и
- 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, и
- 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 выравнивания потенциалов

Защитная мера, при которой:

- основная защита обеспечивается с помощью основной изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями, и
- защита при наличии неисправности обеспечивается с помощью системы выравнивания 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, и
- защита в условиях неисправности обеспечивается:
- простым отделением цепи от других цепей и заземления, и
- с помощью выравнивания 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, и
- защита в условиях неисправности обеспечивается с помощью нетокопроводящей среды.

6. Защита с помощью системы БСНН (SELV — Safety extra-low voltage — рис. 2.4)

БСНН — система безопасного сверхнизкого напряжения.

Защитная мера, при которой защита обеспечивается:

- за счет ограничения напряжения в цепи (система БСНН), и
- защитное отделение системы БСНН от всех цепей, помимо систем БСНН, ЗСНН (PELV), и
- простое отделение 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.

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 системы ЗСНН

ЗСНН — заземленная система безопасного сверхнизкого напряжения.

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.

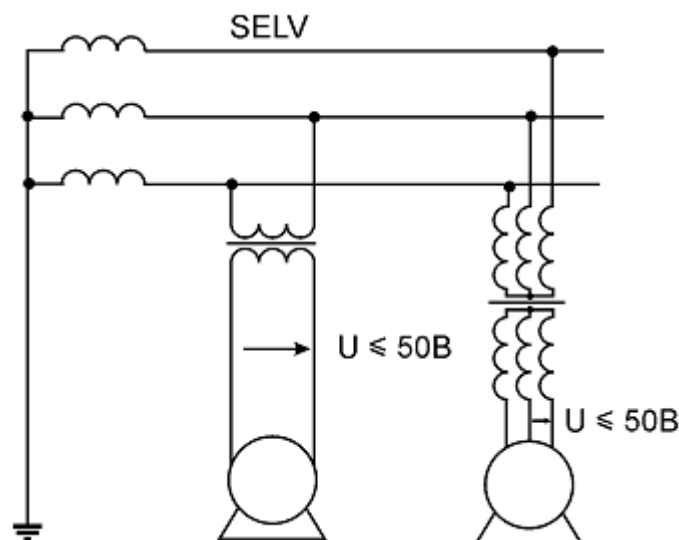


Рис. 2.4. Система БСНН (SELV)

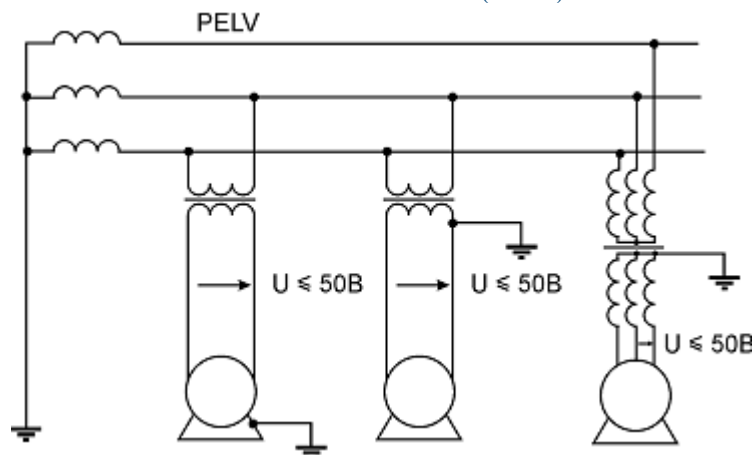


Рис. 2.5. Система ЗСНН (PELV)

По ГОСТ Р 50571.3-94 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. 2.5) — 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.

Защитное отключение согласно классификации по ГОСТ Р МЭК 61140-2000 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. 2.6).

Система электробезопасности включает в себя ряд организационных и технических мероприятий.

Согласно ГОСТ Р 50571.3-93 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.

Устройство защитного отключения является превентивным электротехническим 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) 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 даны приведенные в ГОСТ Р МЭК 61140-2000 (ПРИЛОЖЕНИЕ В) схемы электрических сетей с примерами повреждений, учитываемыми при выборе и обосновании мер защиты от поражения электрическим током при наличии неисправности.

2. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

2.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

ПУЭ (7-е изд.) в разделе 1.1.13 определяют 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;

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

- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
- высокая температура;

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

- 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;

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

- особая сырость;

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

- химически активная или органическая среда;

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.

- одновременно два или более условий повышенной опасности;

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 предъявляют 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.

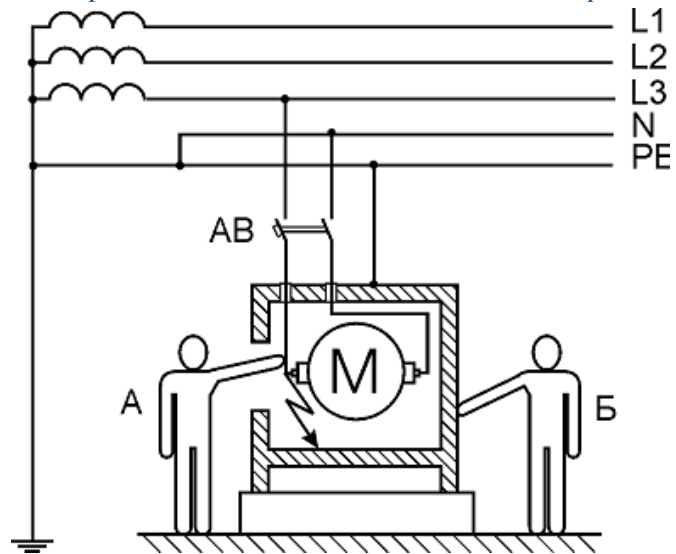


Рис. 2.6. Прямое (А) и косвенное (Б) прикосновение

2.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СПОСОБУ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

ГОСТ Р МЭК 536-94 определяет классы оборудования.

Разделение на классы отражает не уровень безопасности оборудования, а лишь указывает на то, каким способом осуществляется защита от поражения электрическим током.

1. 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.).

2. Оборудование класса I.

Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и соединением открытых проводящих частей, доступных прикосновению, с защитным проводником стационарной проводки.

В этом случае открытые проводящие части, доступные прикосновению, не могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции после срабатывания соответствующей защиты.

Примечания:

- у оборудования, предназначенного для использования с гибким кабелем, к этим средствам относится защитный проводник, являющийся частью гибкого кабеля;
- если стандарты на оборудование конкретных видов допускают, чтобы оборудование, конструкция которого относится к классу I, было снабжено гибким кабелем с двумя проводниками, имеющими на конце вилку, которая не может быть введена в розетку с защитным контактом, то защита такого оборудования обеспечивается основной изоляцией. При этом оборудование должно быть снабжено зажимом для подключения защитного проводника.

3. Оборудование класса II.

Оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается применением двойной или усиленной изоляции.

В оборудовании класса II отсутствуют средства защитного заземления и защитные свойства окружающей среды не используются в качестве меры обеспечения безопасности.

Примечания:

- в некоторых специальных случаях (например, для входных клемм электронного оборудования) в оборудовании класса II может быть предусмотрено защитное сопротивление, если оно необходимо и его применение не приводит к снижению уровня безопасности;
- оборудование класса II может быть снабжено средствами для обеспечения постоянного контроля целостности защитных цепей при условии, что эти средства составляют неотъемлемую часть

оборудования и изолированы от доступных поверхностей в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оборудованию класса II.

- в некоторых случаях необходимо различать оборудование класса II «полностью изолированное» и оборудование «с металлической оболочкой»;
- оборудование класса II с металлической оболочкой может быть снабжено средствами для соединения оболочки с проводником уравнивания потенциала, только если это требование предусмотрено стандартом на соответствующее оборудование;
- оборудование класса II в функциональных целях допускается снабжать устройством заземления, отличающимся от устройства заземления, применяемого в защитных целях, при условии, что это требование предусмотрено стандартом на соответствующее оборудование.
- оборудование класса III допускается снабжать устройством заземления в функциональных целях, отличающимся от устройства заземления, применяемого в защитных целях, при условии, что это требование предусмотрено стандартом на соответствующее оборудование.

Согласно ПУЭ (п.1.7.87, табл. 1.7.3) при выполнении мер защиты в электроустановках до 1 кВ класса применяемого оборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током следует принимать согласно табл. 2.3.

Таблица 2.3.

Класс по ГОСТ Р 12.2.007.0 МЭК536	Маркировка	Назначение защиты	Условия применения электрооборудования в электроустановке
Класс 0	-	При косвенном прикосновении	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

3. 3. СХЕМЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЗДАНИЙ

3.1. СИСТЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

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 от 09.08.93, Департамент электроэнергетики и Главгосэнергонадзор Минтопэнерго России приняли решение о внесении изменений в гл. 7.1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ, 6-е изд., 1986 г.) «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 пути внедрения в России в электроустановках жилых и общественных зданий системы заземления TN-C-S.

В ПУЭ 7-го издания 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.

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 первый из комплекса 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.

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

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

В главе 1.7 ПУЭ 7-го издания (2002г.) 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. 3.1 — 3.6.

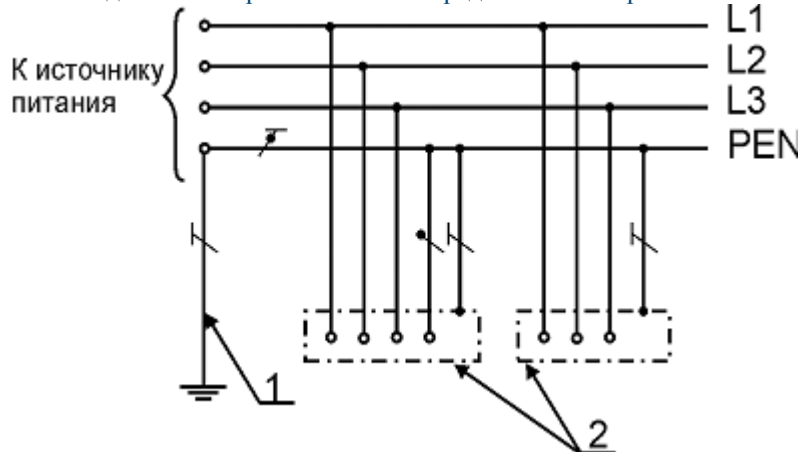


Рис. 3.1. Система TN-C переменного тока

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

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике.

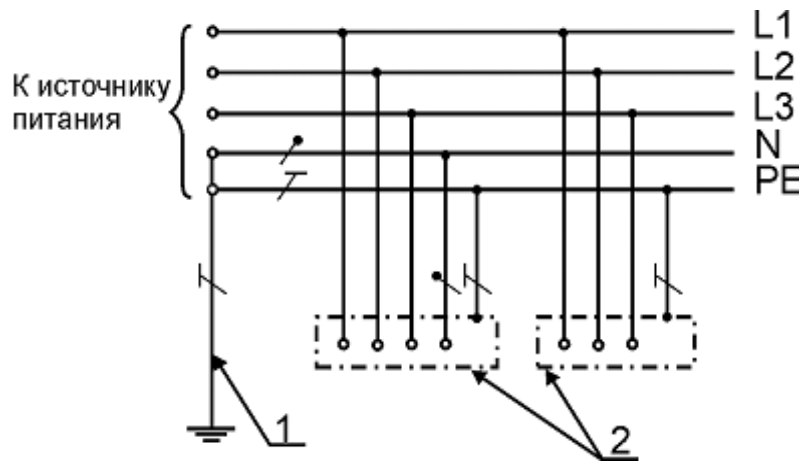


Рис. 3.2. Система TN-S переменного тока

1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены.

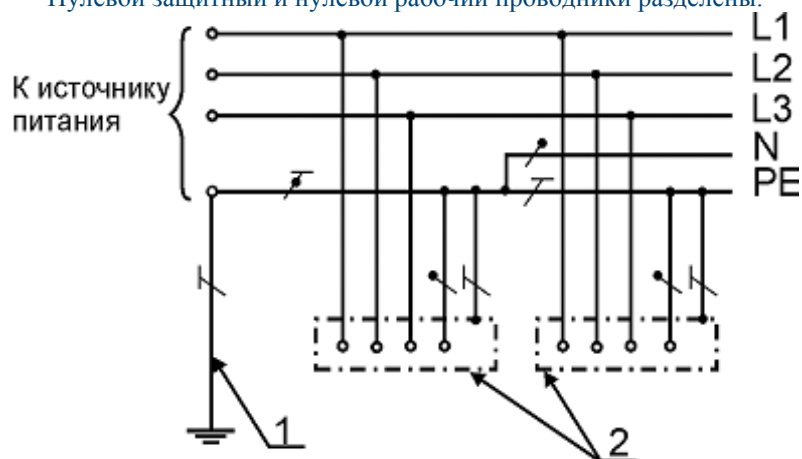


Рис. 3.3. Система TN-C-S переменного тока

1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы.

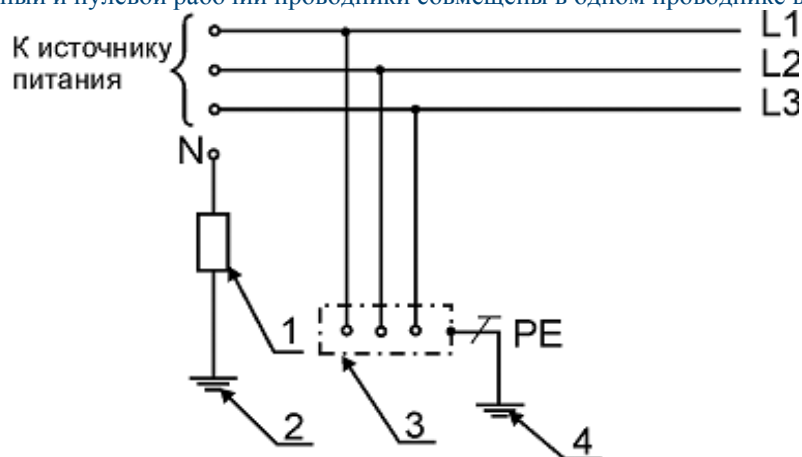


Рис. 3.4. Система IT переменного тока

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.

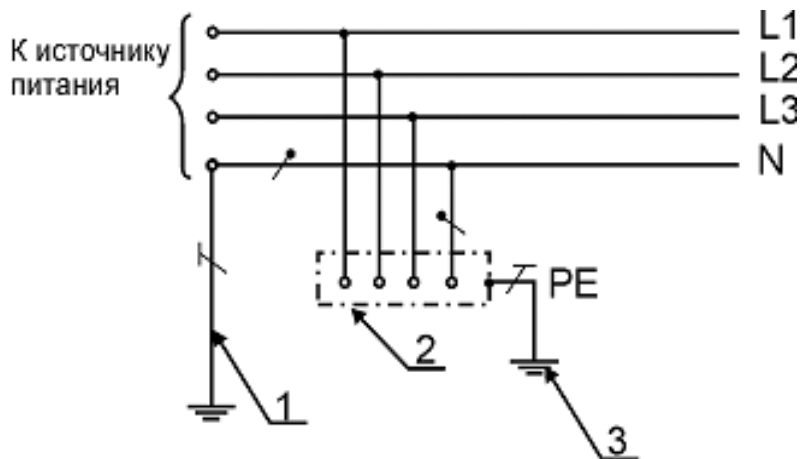


Рис. 3.5. Система ТТ переменного тока. Вариант 1

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.

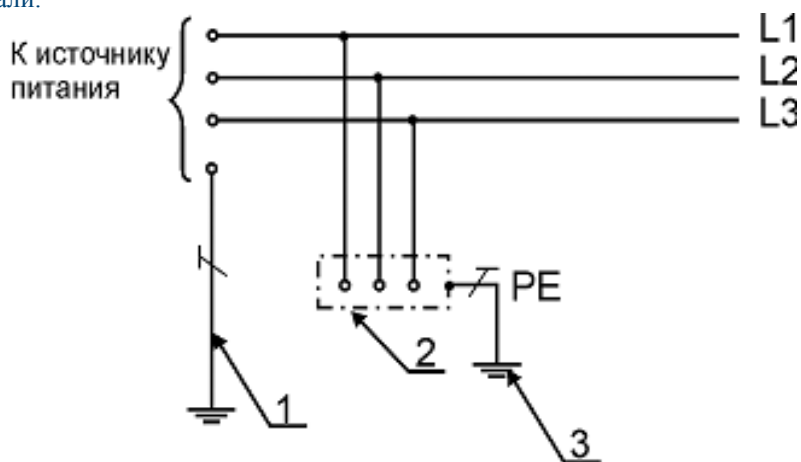


Рис. 3.6. Система ТТ переменного тока. Вариант 2

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.

Условные обозначения систем расшифровываются следующим образом.

Первая буква — состояние нейтрали источника относительно земли:

T — заземленная нейтраль;

I — изолированная нейтраль.

Вторая буква — состояние открытых проводящих частей относительно земли:

T — открытые проводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;

N — открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие (после буквы N) буквы — совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S — нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены;

C — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены 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 в течение многих лет довольно успешно ведет работу по унификации национальных электротехнических правил. Стандарты МЭК признаны практически во всех странах Европы и частично в США, Канаде, Японии. Одним из важных достижений этой унификации является разработка единой системы электротехнических мероприятий, в частности, системы защитного заземления — TN-S, TN-C, TN-C-S, TT и IT.

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

Защитное ее действие основано на принципе достижения за счет многократного заземления и соединения нетоковедущих частей с нейтралью источника «нулевого» потенциала на корпусе, т.е. равного потенциалу земли. Зануление, несмотря на ряд недостатков, долгие годы служило и продолжает служить основным электрозастытным 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 короткого замыкания, 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 электрозастытных мероприятий и вместо старого доброго «зануления» появился комплекс мероприятий под названием «защита с помощью автоматического отключения источника питания». При этом 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 и TN-C-S 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 во вводно-распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник PEN разделен на нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники.

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.

Важное замечание!

В электроустановках с системами заземления TN-S и TN-C-S электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а устройствами защитного отключения (УЗО), действующими 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 короткого замыкания, 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 на два десятилетия раньше, также проходило с большими трудностями. Например, в литературе описан случай, когда электромонтер при подключении одного объекта ошибочно подключил фазу на защитный проводник, что повлекло за собой смертельное поражение нескольких человек.

В плане обеспечения условий электробезопасности при эксплуатации электроустановки серьезной альтернативой вышерассмотренным системам заземления является сравнительно новое, но все более широко применяемое эффективное электрозастытное 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



3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ TN-C-S В СИСТЕМЕ TN-C

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

Совмещенный PEN-проводник разделяется на нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники во вводно-распределительном устройстве (рис. 3.7).

В ПУЭ (7-е изд. 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 с заземлением в случае разрушения (выгорания) контактного зажима.

На рис. 3.8 показаны примеры выполнения этого подключения — в этажном или квартирном щитках.

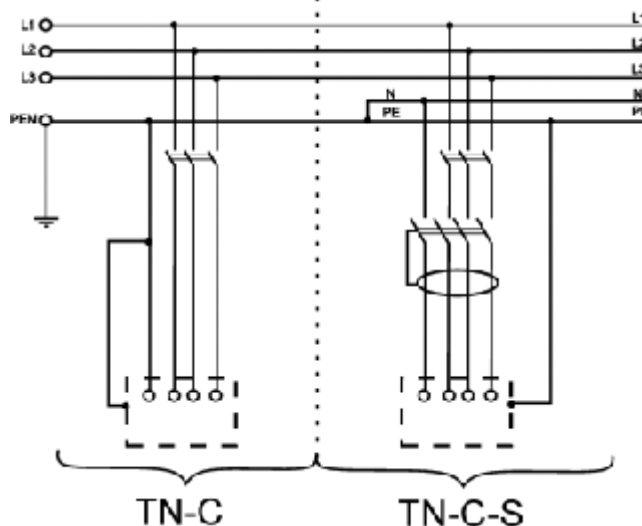


Рис. 3.7. Выполнение системы заземления TN-C-S

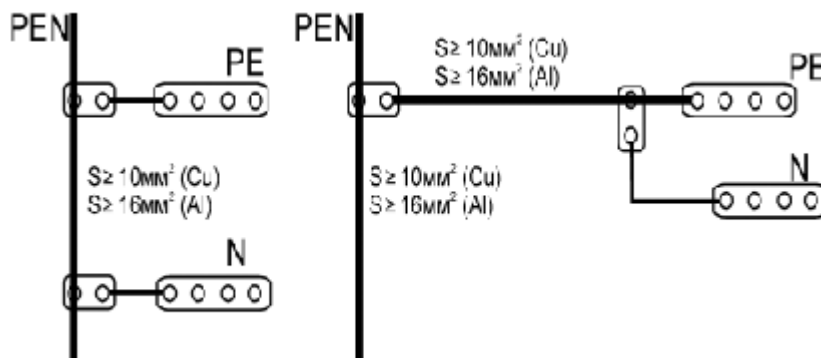


Рис. 3.8. Примеры выполнения подключения проводников PE и N к PEN-проводнику

3.3. СИСТЕМА УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ

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

Правила выполнения системы уравнивания потенциалов определены стандартом МЭК 364-4-41 и пп. 1.7.82, 1.7.83, 7.1.87, 7.1.88 ПУЭ 7-го изд. Эти правила предусматривают подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине (рис. 3.9).

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

На рис. 3.10 приведен пример выполнения системы уравнивания потенциалов в электроустановке жилого дома.

ПУЭ 7-го издания (1999 г.) 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;
- 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 РЕ 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.

ПУЭ 7-го издания (2002 г.) п.п. 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 РЕ- 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);
- 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;

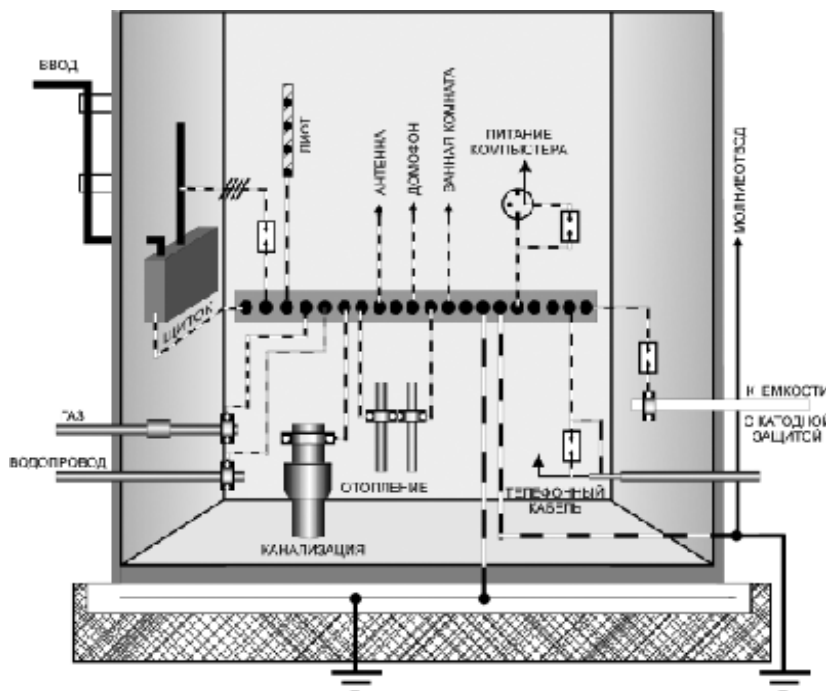


Рис. 3.9. Пример выполнения системы уравнивания потенциалов

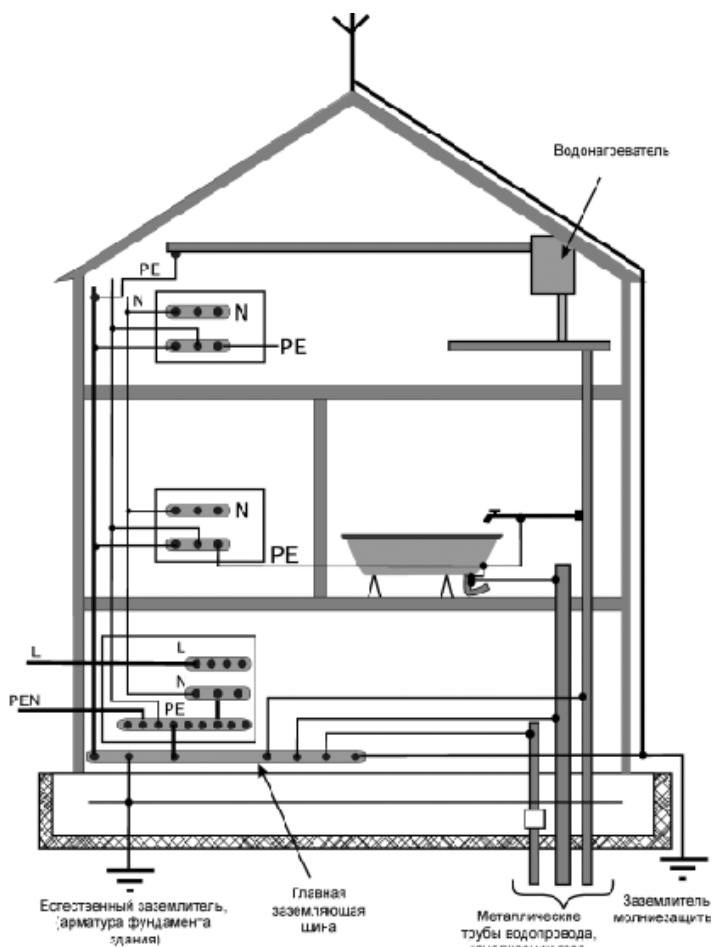


Рис. 3.10. Пример выполнения уравнивания потенциалов в электроустановке здания с системой TN-C-S

- 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 РЕ 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 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.

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.

4. УЗО — ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОТИВОПОЖАРНОЕ И ЭЛЕКТРОЗАЩИТНОЕ СРЕДСТВО

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток, наряду с устройствами защиты от сверхтока, относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

Защита от сверхтока (при применении защитного зануления) обеспечивает защиту человека при косвенном прикосновении — путем отключения автоматическими выключателями или предохранителями поврежденного участка цепи при коротком замыкании на корпус.

При малых токах замыкания, снижении уровня изоляции, а также при обрыве нулевого защитного проводника зануление 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 непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением (рис. 4.1).

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 более трети всех пожаров происходят по причине возгорания электропроводки в результате нагрева проводников по всей длине, искрения, горения электрической дуги на каком-либо элементе, вызванных токами короткого замыкания.

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

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.

Первое устройство защитного отключения было запатентовано германской фирмой RWE (Rheinisch—Westfälisches Elektrizitätswerk AG) в 1928 г. (RP № 552 678 от 08.04.28).

Впервые принцип токовой дифференциальной защиты, ранее применявшийся для защиты оборудования — генераторов, линий, трансформаторов, был применен для защиты человека от поражения электрическим током.

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.

Все последующие годы, за исключением военных и первых послевоенных, в европейских странах велась интенсивная работа по изучению действия электрического тока на организм человека, разработке электрозащитных 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 — электромеханических) во все без исключения электроустановки — на производстве, в общественных зданиях, жилье.

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. Поскольку в этой стране 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 (120 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 устройства защитного отключения применяют исключительно для защиты отдельных цепей — как правило, УЗО вмонтированы в розеточные блоки, широко используются УЗО-вилки, УЗО в удлинителях. В распределительные щиты УЗО устанавливают на цепь ванных комнат.

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

В 70-х годах, в нашей стране активно велись научно-исследовательские, экспериментальные и опытно-конструкторские работы по созданию и внедрению в широкую практику УЗО.

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

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

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.

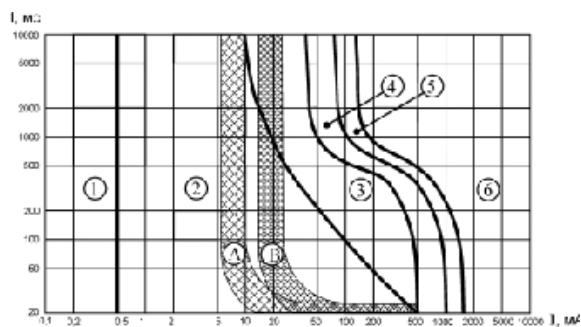


Рис. 4.1. График областей физиологического действия на человека переменного тока (50-60 Гц) по МЭК 479-94, гл. 2,3 и времятоковые характеристики УЗО:
 1 - неощутимые токи; 2 - осязаемые, но не вызывающие физиологических нарушений;
 3 - осязаемые, но не вызывающие опасность фибрилляции сердца;
 4 - осязаемые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность < 5%);
 5 - осязаемые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность < 50%);
 6 - осязаемые, вызывающие опасность фибрилляции сердца (вероятность > 50%); А ($I_{н} = 10$ мА) и В ($I_{н} = 30$ мА) - времятоковые характеристики УЗО.

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

УЗО оборудованы в обязательном порядке все передвижные объекты (жилые домики-прицепы на кемпинговых площадках, торговые фургоны, фургоны общественного питания, малые временные электроустановки наружной установки, например, устраиваемые на площадях на время праздничных гуляний), ангары, гаражи.

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 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.

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 — **Fehlerstrom-Schutzschalter**. Сокращенно: FI-Schutzschalter.

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

Во Франции — **disjoncteur différentiel** (дифференциальный выключатель). Сокращенно: DD.

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. 4.1).

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

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

Таблица 4.1

RCD	residual current protective device - защитное устройство по дифференциальному (разностному) току (общее название УЗО)
PRCD	portable residual current protective device - переносное защитное устройство по дифференциальному току
PRCD-S	portable residual current protective device - safety - переносное защитное устройство по дифференциальному току (в кабеле-удлинителе)
SRCD	fixed socket outlet residual protective current device - защитное устройство по дифференциальному току (встроенное в розетку)
RCCB	residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection - защитное устройство по дифференциальному току без встроенной защиты от сверхтоков
RCBO	residual current operated circuit breakers with integral overcurrent protection - защитное устройство по дифференциальному току со встроенной защитой от сверхтоков
RCM	residual current monitor - устройство контроля дифференциального тока (тока утечки)

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 применяется правильный термин — УЗО, реагирующее на дифференциальный ток.

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

Характерно, что зарубежные специалисты в публикациях и технических документах применяют иногда термин RCD, однако в основном используют 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, 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».

Это название — ошибочное, не соответствует российским стандартам. Появилось оно в результате неправильного перевода иностранного термина, сделанного переводчиком, незнакомым с отечественной электротехнической терминологией.

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.

4.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УЗО

Функционально УЗО можно определить как **быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на 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 — 4-х) токов по амплитуде и фазе наиболее эффективно, т.е. с минимальной погрешностью, осуществляется электромагнитным путем — с помощью дифференциального трансформатора тока (рис.4.2).

Суммарный магнитный поток в сердечнике — Φ_{Σ} , пропорциональный разности токов в проводниках, являющихся первичными обмотками трансформатора, i_L и i_N , наводит во вторичной обмотке трансформатора тока соответствующую эдс, под действием которой в цепи вторичной обмотки протекает ток $i_{\Delta am}$, также пропорциональный разности первичных токов.

Следует отметить, что к магнитному сердечнику трансформатора тока электромагнитного УЗО предъявляются чрезвычайно высокие требования по качеству — высокая чувствительность, линейность характеристики намагничивания, температурная и временная стабильность и т. д.

По этой причине для изготовления сердечников трансформаторов тока, применяемых при производстве УЗО, используется специальное высококачественное аморфное (некристаллическое) железо.

Основные функциональные блоки УЗО представлены на рис. 4.3.

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1.

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.

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

Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

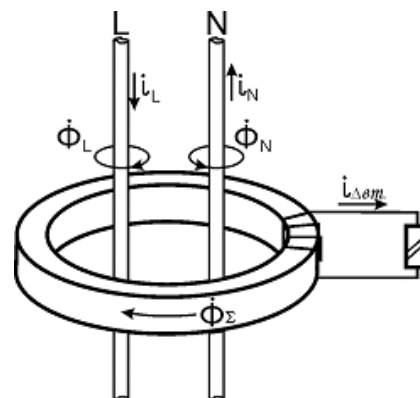


Рис. 4.2. Дифференциальный трансформатор тока

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока — тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока I_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 как I_2 , то можно записать 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 равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток — ток утечки (I_D), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_D$ 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.

Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

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

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4.

При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

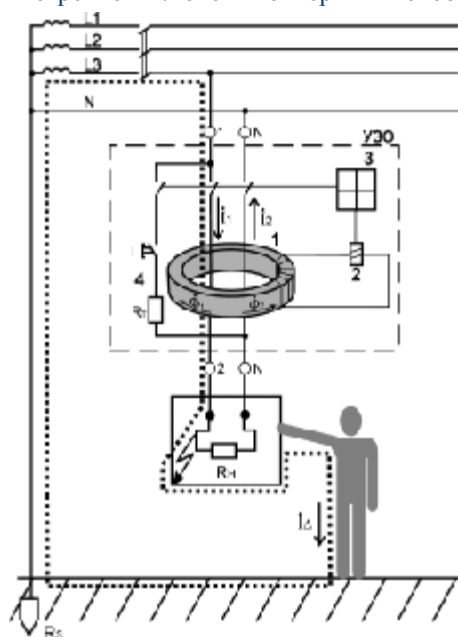


Рис. 4.3. Принцип действия УЗО

4.3. ВИДЫ УЗО

По техническому исполнению существуют различные виды УЗО. Ниже приведена примерная классификация УЗО.

1. По назначению:

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

2. По способу управления:

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

УЗО, функционально зависящие от напряжения, в свою очередь, подразделяются:

- на устройства, автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения с выдержкой времени или без нее. При восстановлении напряжения одни модели этих устройств автоматически повторно замыкают контакты своей главной цепи, другие остаются в отключенном состоянии;
- на устройства, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения. Имеются также две варианта исполнения устройств этой группы. В одном варианте при исчезновении напряжения устройство не размыкает свои контакты, но сохраняет способность разомкнуть силовую цепь при возникновении дифференциального тока. Во втором варианте, при отсутствии напряжения, устройства неспособны произвести отключение при возникновении дифференциального тока.

3. По способу установки:

- УЗО, применяемые для стационарной установки при неподвижной электропроводке;
- УЗО, используемые для подвижной установки (переносного типа) и шнурового присоединения.

4. По числу полюсов и токовых путей:

- двухполюсные с двумя защищенными полюсами;
- четырехполюсные с четырьмя защищенными полюсами.

5. По условиям регулирования отключающего дифференциального тока: