

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие
по дисциплине
«Основы проектирования электроэнергетических
систем и сетей»

Казань 2016

УДК 621.311

ББК 31.211

Ф34

Рецензенты:

кандидат технических наук, главный инженер проектов отдела проектирования ОАО «ТАТЭМ» *А.Н. Кривов*;
доктор технических наук, доцент Казанского государственного энергетического университета *Е.И. Грачева*

Ф34 Федотов А.И.

Специальные вопросы проектирования электрических сетей жилых зданий: учеб. пособие / А.И. Федотов, О.В. Наумов, А.Р. Ахметшин, Н.В. Чернова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 108 с.

Содержит материалы, необходимые для проектирования электрических сетей жилых зданий. Рассматриваются особенности построения и применения схем распределительных электрических сетей напряжением 0,4 кВ и выше городских зданий и индивидуальной малоэтажной жилой застройки. Приводятся типовые схемные решения. Детально рассматриваются вопросы выполнения заземления и зануления зданий, применения устройств защитного отключения. Приводится перечень основных нормативных документов, которые следует использовать при выполнении курсовых и дипломных квалификационных работ.

Предназначено для студентов всех форм обучения направления подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.311

ББК 31.211

ВВЕДЕНИЕ

Жилище является основой комфортного проживания людей. При массовом строительстве многоквартирных жилых домов, а также одноквартирных домов или коттеджей, не имеющих верхних ограничений по нормируемой площади, создаются условия для удовлетворения запросов заказчиков по повышению комфортности проживания.

Важнейшим условием реализации комфортности является оснащение жилища различными устройствами, работа которых основана на использовании электроэнергии. Украшением любого интерьера являются художественно оформленные светильники, электрокамины и другие электробытовые приборы, обеспечивающие удобство быта, комфорт и уют. Телевизоры, холодильники, стиральные машины, электроплиты, пылесосы, кухонные комбайны и другие приборы являются неотъемлемой частью быта людей. Электроподогреватели различных конструкций и назначений, кондиционеры, вентиляторы создают комфортные климатические условия в жилище. В широкий спектр электробытовых приборов, создающих удобства в быту, входят различные электрочайники, кофеварки, электроутюги, электромясорубки, фены, электробритвы и др. Человек применяет в быту различные электроинструменты: электродрели, электрорубанки, электроплиты, электрогазонокосилки, сварочные аппараты и т.д.

Комфортность жилища повышается при наличии электродушевых, джакузи, саун и тому подобных устройств, обеспечивающих прием водных и воздушных процедур. Работа этих устройств основана на использовании электроэнергии. Все более широкое применение в быту находят персональные компьютеры и различные устройства на базе микропроцессорной техники, составляющие основу интеллектуализации жилища.

Кроме того, в коттеджах широко используются различные насосы, электрокотлы, электроклиматические устройства для теплиц и др., являющиеся основой водо- и теплоснабжения как самого жилища, так и приусадебных построек, что также способствует повышению комфортности жилища.

Оснащение жилища перечисленными видами электробытовых приборов и установок приводит к резкому увеличению электропотребления, повышению опасности поражения людей электрическим током, повышению пожарной опасности.

Исключению или сокращению негативных последствий электрификации быта способствует выполнение для каждой квартиры или коттеджа проекта электрооборудования, в котором, наряду с выполнением функционального назначения электроустановки, учитываются требования по обеспечению электро- и пожаробезопасности. Техническую основу настоящих рекомендаций составляет электрооборудование отечественных и зарубежных компаний, которое широко используется на российском рынке. Рекомендуемое оборудование имеет сертификаты, соответствует требованиям государственных стандартов России и пожарной безопасности. Импортное оборудование во многих случаях является комплектующим для предприятий-изготовителей комплектных устройств, расположенных в различных регионах РФ.

Нормативно-технической базой проектирования являются правила устройств электроустановок (ПУЭ), различные нормы и правила (СНиПы, ГОСТы, СП, СН и др.), в которых регламентированы отдельные разделы, относящиеся к электроустановкам жилых зданий. Однако в практических условиях пользование всей нормативно-технической базой при проектировании затруднено без предварительного осознания содержания этапов проектирования, технологии их выполнения, понимания требований, которые необходимо при этом соблюдать. В учебном процессе проектированию электрических сетей жилых и общественных зданий, в силу ограниченности объема программы профильных дисциплин, фактически не уделяется должного внимания. В то же время выпускники вузов, обучившиеся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», являются главным кадровым потенциалом проектных организаций рассматриваемого направления.

В данном учебном пособии раскрываются основные аспекты и предлагаются рекомендации по проектированию электроустановок квартир с улучшенной планировкой, в том числе и коттеджей. Оно предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Основы проектирования электроэнергетических сетей и систем». Целью данной дисциплины является формирование знаний, умений и профессиональных компетенций по основам проектирования электроэнергетических сетей общего назначения, в том числе городских и сельских сетей, изучение схем электроснабжения потребителей электроэнергии, методик выбора электрооборудования электрических сетей и подстанций. Список основных нормативных документов сведен в отдельную таблицу. Непосредственные ссылки на него в тексте в основном отсутствуют. Авторы полагают, что вначале студент должен изучить особенности проектируемых объектов, после чего, уже на

этапе выполнения конкретного проекта, пользоваться соответствующими нормативными материалами.

Учебное пособие состоит из пяти глав.

В первой главе раскрыты основные требования и определения, используемые при проектировании электрических сетей жилых зданий: требования к электроустановкам современных квартир и коттеджей; категории квартир и коттеджей и их характеристики; режимы работы, влияние на питающую сеть; резервирование питания электроприемников в сети 0,4 кВ; примеры выполнения электрических сетей жилых зданий.

Во второй главе раскрыт вопрос организации учета электроэнергии в сетях 0,4 кВ: основные принципы учета электроэнергии; организация учета электроэнергии при проектировании многоквартирных жилых домов; организация учета электроэнергии при проектировании индивидуальных жилых домов; основные требования к установке приборов учета; виды счетчиков электрической энергии.

В третьей главе рассмотрены основные принципы обеспечения электробезопасности в жилых домах: молниезащита и защита от импульсных перенапряжений; защита от временных перенапряжений; основные принципы обеспечения электробезопасности жилых зданий.

В четвертой главе рассмотрено защитное заземление.

В пятой главе рассмотрено устройство защитного отключения.

Дисциплина «Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей» базируется на предшествующих дисциплинах, таких как «Электрические машины», «Электрические аппараты» и др.; тесно связана с параллельно изучаемыми дисциплинами «Электрические станции и подстанции», «Основы электроснабжения промышленных предприятий» и, в свою очередь, является базой для изучения последующих дисциплин по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Целью учебного пособия является формирование у студентов компетенций, позволяющих им при выполнении проектов закладывать современные технические решения по обеспечению надежного энергоснабжения многоквартирных и индивидуальных жилых домов:

– способности использовать методы анализа и моделирования электрических цепей;

– способности принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования;

– способности проводить обоснование проектных решений;

– способности оценивать техническое состояние и остаточный ресурс оборудования;

– способности применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы;

– способности применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений;

– способности осуществлять технико-экономическое обоснование проектов;

– способности принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения;

– способности определять эффективные производственно-технологические режимы работы объектов электроэнергетики и электротехники.

Учебное пособие подготовлено в процессе выполнения НИР «Методы повышения надежности электроснабжения и качества электроэнергии в распределительных электрических сетях», задание № 2014/448 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России.

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

1.1. Требования к электроустановкам современных квартир и коттеджей

Основные требования к электроустановкам жилых домов, квартир, коттеджей отражены в правилах устройства электроустановок (ПУЭ), стандартах России и МЭК, Строительных нормах и правилах (СНиП), сводах правил (СП), Московских городских строительных нормах (МГСН), инструкциях, рекомендациях, указаниях, выпускаемых Госстроем РФ, Энергонадзором, Энергосбытом и другими уполномоченными государственными органами. В Приложении приведен перечень действующей на 2005 г. нормативной документации в рассматриваемой области.

Все требования направлены на обеспечение надежности, электропожаробезопасности и экономичности при соблюдении условий комфортного проживания людей.

Надежность электроснабжения жилых зданий должна соответствовать требованиям ПУЭ, СП31-110-2003 и других нормативных документов. По классификации ПУЭ это, как правило, потребители II и III категорий надежности.

Для жилища I категории допускается повышение категории надежности электроснабжения по согласованию с органами Энергонадзора.

Для коттеджей по заданию заказчика допускается использование в качестве резервного источника электроэнергии автономного дизель-генератора.

Электроснабжение квартир и многоквартирных домов (коттеджей) с электронагревателем или полностью электрифицированных (III и IV уровни электрификации быта), а также с установленной мощностью электроприемников более 11 кВт следует, как правило, осуществлять от трехфазной сети. Неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам не должна превышать 15 %.

При трехфазных вводах в квартиры и многоквартирные жилые дома (коттеджи) рекомендуется однофазную нагрузку, состоящую из нескольких нагревательных элементов (конфорки электроплит, нагревательные элементы электронагревателей и т.п.), подключать по трехфазной схеме. При заказе такого оборудования следует учитывать возможность подключения бытового электроприбора по трехфазной схеме, которая должна быть предусмотрена в конструкции прибора заводом-изготовителем.

В жилищах I или II категорий, как правило, предусматриваются:

- установка приборов учета (однофазных и трехфазных счетчиков) на вводе в квартиру (одноквартирный дом);
- включение квартир и одноквартирных домов в автоматизированную систему учета электропотребления – АСУЭ (по техническим условиям Энергосбыта);
- выключатели плавного регулирования или кратковременного включения с выдержкой времени для общедомовых внеквартирных помещений многоквартирных жилых домов;
- установка в кухнях не менее четырех розеток, рассчитанных на ток 10 (16) А;
- установка в жилых (и других) комнатах квартир, одноквартирных домов не менее одной розетки, рассчитанной на ток 10 (16) А, на каждые полные и неполные 4 м периметра комнаты;
- установка во внутриквартирных коридорах, холлах, прихожих не менее одной розетки¹ на каждые полные и неполные 10 м²;
- установка в передней квартир (однокомнатных домов) электрического звонка, при входе в квартиру (одноквартирный дом) – звонковой кнопки;
- установка в ваннных комнатах (совмещенных санузлах) розеток специального назначения, предназначенных для этих помещений²;
- устройство рабочего и эвакуационного искусственного освещения.

При проектировании электроустановок жилища должны быть предусмотрены мероприятия и технические средства, обеспечивающие электробезопасность и пожарную безопасность. К таким мероприятиям и средствам относятся:

- применение устройств защитного отключения;
- применение электрических розеток с защитными шторками;
- заземление;
- защитное зануление;
- система уравнивания потенциалов.

¹ Розеточная сеть выполняется трехпроводной (фаза, основной или рабочий нулевой проводник и защитный нулевой проводник). Штепсельные розетки, устанавливаемые в квартирах, жилых комнатах, а также в помещениях для пребывания детей, должны иметь защитное устройство, автоматически закрывающее гнезда штепсельной розетки при вынутой вилке.

² Вся сеть розеток обязательно подключается к системе распределительных сетей через автомат с УЗО.

Оболочки для установки автоматических выключателей, контакторов, реле и т.п., применяемые в отдельных помещениях жилища или в постройках на приусадебных участках, по степени защищенности от влаги, пыли, химически активных веществ и от поражения людей электрическим током должны соответствовать международному классификатору – IP-коду (Index of Protection), который определен в ГОСТ 14254-96 (стандарт МЭК 529-89).

IP-код представляет собой набор из двух цифровых и двух буквенных (дополнительных) символов. Первая цифра кода определяет степень защищенности оборудования от пыли и степень защиты человека от прикосновения к токоведущим и движущимся частям, вторая – степень защиты от влаги. В табл. 1.1 приведены отличительные признаки защищенности, обозначенные цифрами. Буквенные обозначения кода защищенности приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.1

Цифровые обозначения кода защищенности

Первая цифра кода	Степень защиты оборудования от пыли. Степень доступа людей	Вторая цифра кода	Степень защиты от влаги
–	Отсутствие защиты от пыли. Нет защиты от контакта с токоведущими частями	–	Отсутствует защита от влаги
1	Защита от частиц большого диаметра (более 50 мм). Защита людей от непосредственного контакта с большими областями токоведущих и движущихся частей оборудования	1	Защита от капель воды, падающих на оборудование вертикально
2	Защита от частиц среднего диаметра (более 12 мм). Защита людей от контакта с токоведущими и движущимися частями (например, палец руки)	2	Защита от капель воды, падающих на оборудование наклонно (до 15° от вертикали)

Первая цифра кода	Степень защиты оборудования от пыли. Степень доступа людей	Вторая цифра кода	Степень защиты от влаги
3	Защита от частиц меньше среднего диаметра (более 2,5 мм). Защита людей от контакта с токоведущими и движущимися частями (например, при использовании инструмента диаметром более 2,5 мм)	3	Защита от водных брызг, падающих на оборудование наклонно (до 60° от вертикали)
4	Защита от частиц малого диаметра (более 1,0 мм). Защита людей от контакта с токоведущими и движущимися частями (например, при использовании инструмента диаметром менее 2,5 мм)	4	Защита от водных брызг, падающих на оборудование с любого направления
5	Частичная защита от воздействия пыли, не влияющая на условия работы оборудования. Полная защита людей от любого контакта с токоведущими и движущимися частями оборудования	5	Защита от водной струи, бьющей из сопла со скоростью 12,5 л/мин на оборудование с любого направления
6	Полная защита от воздействия пыли. Полная защита людей от любого контакта с токоведущими и движущимися частями	6	Защита от мощной водной струи, бьющей из сопла со скоростью 100 л/мин на оборудование с любого направления
—		7	Защита от временного затопления. Оборудование выдерживает погружение в воду на глубину до 1 м на время до 30 мин
		8	Защита от постоянного нахождения в воде

Таблица 1.2

Буквенные обозначения кода защищенности

Первая буква кода	Описание	Вторая буква кода	Описание
А	Защита от прикосновения рукой к опасным частям устройства	Н	Устройство предназначено для работы при высоком напряжении
В	Защита от прикосновения пальцами к опасным частям устройства	М	Устройство предназначено для работы при воздействии воды в движении
С	Защита от прикосновения к опасным частям устройства инструментами диаметром более 2,5 мм и длиной более 100 мм	S	Устройство предназначено для работы при воздействии воды в неподвижном состоянии
Д	Защита от прикосновения к опасным частям устройства проводом диаметром более 1,0 мм и длиной более 100 мм	W	Устройство сохраняет работоспособность в условиях грозы

Как правило, для бытовых электроустановок используется оборудование, кодируемое только цифрами. Например, розетки, устанавливаемые в теплых, сухих помещениях, могут иметь класс защиты IP20. Пылевлагозащищенные корпуса навесных щитов – IP55. Навесные корпуса щитов для жилых помещений – IP30.

Индивидуальные дома (коттеджи) должны быть оборудованы молниезащитой.

Проект электроснабжения должен обеспечивать энергоэффективность, эстетичность и функциональность электроустановки жилища.

Под энергоэффективностью подразумевается рациональное использование электроэнергии в быту. Квартиры повышенной комфортности и коттеджи следует отнести к жилищам III и IV уровней электрификации быта, что характеризуется высоким электропотреблением.

Энергоэффективность достигается, например:

– применением наиболее эффективных источников света, т.е. обладающих наибольшей световой отдачей и сроком службы;

- построением схемы сети искусственного освещения таким образом, чтобы обеспечивалось отключение части светильников;

- применением для домов с электроводонагревателями, как правило, аккумуляционных электроводонагревателей и аккумуляционных печей для электроотопления с автоматическими устройствами, которые осуществляют включение аккумуляционных приборов в ночное время, в часы, определяемые энергоснабжающей организацией в зависимости от графика электрических нагрузок;

- оснащением устройств электроотопления помещений терморегуляторами.

Одним из условий комфортности жилища является архитектурно-художественное оформление интерьеров помещений, поэтому электроустановки в этих помещениях не должны нарушать общих дизайнерских решений. Это в первую очередь относится к электропроводам, различным выключателям и розеткам, светильникам и пр.

Функциональность электроустановок определяется удобством их использования в быту. Учитывая этот фактор, при проектировании необходимо размещать различную электроаппаратуру в наиболее удобных для человека местах и максимально использовать возможности дистанционного управления.

1.2. Категории квартир и коттеджей и их характеристики

В соответствии с нормативными документами, установлены две категории по уровню комфорта жилищ:

- I категория – нормативные нижние и неограниченные верхние пределы площадей квартир или многоквартирных домов;

- II категория – нормируемые нижние и верхние пределы площадей квартир (жилых комнат).

Исходя из этого, квартиры с улучшенной планировкой и коттеджи следует отнести к I категории комфортности. Для примера, в г. Москве, в соответствии с МГСН3.01-01, для жилищ I категории устанавливается тип квартиры, число комнат в зависимости от типа и площади квартир (без учета площадей балконов, лоджий, кладовых, веранд, тамбуров) – табл. 1.3.

Данные, характеризующие количество жилых комнат и нижние пределы площади квартир (по МГСНЗ.01-01)

Характеристика площадей жилища I категории комфорта	Число жилых комнат											
	1	2	3	4	5	6						
	Типы квартир											
	1М	1Б	2М	2Б	3М	3Б	4М	4Б	5М	5Б	6М	6Б
Нижние пределы площади квартир, м ²	33	38	44	54	62	68	74	83	89	96	103	109

Однако комфортность жилища определяется не только площадью квартир. В таких квартирах, наряду с традиционными жилыми и подсобными помещениями (кухня, гостиная, спальня и т.п.), по желанию заказчиков, например, могут быть:

- в коттеджах и сблокированных жилых домах – бассейны, стоянки (гаражи) легковых автомобилей, столярная или механическая мастерская, лифты (при расположении коттеджа на трех и более уровнях);

- дополнительные помещения: игровая, детская, столовая, кабинет, студия, библиотека, помещения для хозяйственных работ (комната для стирки, гардеробная), помещения физкультурно-оздоровительного назначения (сауна, тренажерный зал, бильярдная) и др.;

- зимний сад.

Кроме того, уровень комфортности жилья определяют следующие показатели:

- объемно-планировочные решения, учитывающие общую площадь, состав и взаимное расположение помещений, их высоту;

- нормативные показатели естественного (КЕО) и искусственного освещения помещений;

- санитарно-гигиенические нормы, включающие уровень шума, количество и обустройство санузлов, температуру помещений, кратность воздухообмена, уровень воздействия электромагнитных полей и пр.;

- надежность, безопасность и экономичность электроснабжения и электрооборудования;

- уровень электрификации быта;

- уровень автоматизации инженерных систем (горячее и холодное водоснабжение, отопление, вентиляция, электрическое освещение, пожарная и охранная сигнализация и др.).

Все указанные показатели комфортности жилья оказывают влияние на применяемые в нем электроустановки. Так, от общей площади жилых и подсобных помещений, их состава, взаимного расположения и высоты зависит установленная мощность светильников электрического освещения, обеспечивающих нормативные показатели искусственного освещения. От требований по температуре в помещениях и кратности воздухообмена зависит установленная мощность приборов отопления и вентиляции. Требования по надежности и безопасности определяют выбор типа и характеристик электрооборудования.

В действующих нормативных документах (см. Приложение) регламентируется четыре уровня электрификации быта:

- I – жилые здания с газовыми плитами;
- II – жилые здания с электрическими плитами;
- III – жилые здания с электрическими плитами и электронагревателями;
- IV – жилые здания, полностью электрифицированные (электроплиты, электронагреватели, электроотопление).

Ниже в пособии используются следующие термины.

Потребитель электрической энергии – организация, учреждение, территориально обособленный цех, объект, площадка, строение, квартира и т.п., присоединенные к электрическим сетям и использующие энергию с помощью имеющихся приемников электрической энергии.

Абонент – потребитель, непосредственно присоединенный к сетям энергоснабжающей организации, имеющий с ней границу балансовой принадлежности электрических сетей, право и условия пользования электрической энергией которого обусловлены договором энергоснабжающей организации с потребителем или вышестоящей организацией. Для бытовых потребителей – квартира, строение или группа территориально объединенных строений личной собственности.

Граница балансовой принадлежности – точка раздела электрической сети между энергоснабжающей организацией и абонентом, определяемая по балансовой принадлежности электрической сети.

Точка учета расхода электроэнергии – точка схемы электроснабжения, в которой с помощью измерительного прибора (расчетного счетчика, системы учета и т.п.) или иных методов определяются значения расходов электрической энергии и мощности, используемые при коммерческих расчетах. Точка учета соответствует границе балансовой принадлежности электрической сети.

Расчетный прибор учета – прибор учета, система учета, на основании показаний которого в точке учета определяется расход электрической энергии абонентом (субабонентом), подлежащей оплате.

Контрольный прибор учета – прибор учета, на основании показаний которого в данной точке сети определяется расход электрической энергии, используемой для контроля.

Присоединенная мощность потребителя – суммарная мощность присоединенных к электрической сети трансформаторов потребителя, преобразующих энергию на рабочее (непосредственно питающее токоприемники) напряжение, и электродвигателей напряжением выше 1000 В.

В тех случаях, когда питание электроустановок потребителей производится от трансформаторов или низковольтных сетей энергоснабжающей организации, за присоединенную мощность потребителя принимается разрешенная к использованию мощность, размер которой устанавливается энергоснабжающей организацией и указывается в договоре на отпуск электрической энергии.

Нормируемая классификация электрификации быта ориентирована на оснащенность жилья наиболее энергоемким оборудованием. Однако, наряду с этим, электрификация быта сопровождается широким использованием различных бытовых электроприемников – холодильников, телевизоров, стиральных машин, пылесосов, вентиляторов, кондиционеров, электрических кухонных приборов и многих других. Исходя из этого, жилище I категории не имеет верхнего ограничения уровня электрификации быта.

Как выше отмечалось, в понятие «жилище» входят помещения различного назначения, приусадебные постройки и наружные установки. В каждом из указанных помещений или построек в большей или меньшей степени используются различные электроприемники, для электропитания которых необходимы соответствующие электроустановки.

При проектировании электроустановок в помещениях необходимо пользоваться классификацией помещений, приведенной в ПУЭ (табл. 1.4).

Классификация помещений по условиям окружающей среды

Категория помещений	Характеристика окружающей среды	Примеры помещений
Сухие или нормальные помещения	Относительная влажность воздуха до 60 %	Отапливаемые жилые помещения
Влажные помещения	Относительная влажность воздуха от 60 до 75 %	Неотапливаемые жилые помещения
Сырые помещения	Относительная влажность воздуха выше 75 %	Комнаты для стирки, ванны, подвалы, террасы, гаражи
Жаркие помещения	Относительная влажность воздуха близка к 100 %	Бассейны, сауны, бани, теплицы, парники, наружные установки или установки под навесами
Особо сырые помещения	Температура более 1 суток превышает +35 °С	Котельные
Пыльные помещения: токопроводящая пыль; нетокопроводящая пыль	Технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п.	Механические мастерские Столярные мастерские
Помещения с химически активной или органической средой	Длительное время содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, и образуются отложения или плесень	Помещения для содержания животных и птицы, для дизельных установок

В отношении поражения людей электрическим током по ПУЭ определены 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:

- сырости (влажность более 75 %) или токопроводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);

- высокой температуры (выше 35 °С);
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям здания, технологическим аппаратам, механизмам и т.п. и к металлическим корпусам электрооборудования.

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

- особой сырости (влажность близка в 100 %);
- химически активной или органической среды;
- одновременно двух или более условий повышенной опасности.

4. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивают к особо опасным помещениям.

Проектирование электроустановок квартир с улучшенной планировкой и коттеджей осуществляется в соответствии с заданием заказчика. При этом все технические решения в проекте электротехнической части должны удовлетворять требованиям действующих нормативных документов.

1.3. Бытовые потребители электроэнергии, режимы работы, влияние на питающую сеть

Для пользования разнообразными электрическими приборами, создающими комфортные условия проживания, жилище оснащается электроустановками, включающими вводно-распределительные устройства, защитную и коммутационную аппаратуру, разветвленную сеть электрических проводок. Оснащенность бытовыми потребителями электроэнергии квартир повышенной комфортности в многоквартирных домах и в коттеджах имеет принципиальные отличия.

Так, в квартирах наиболее энергоемкими потребителями энергии являются электрические плиты (при оснащении квартир электрическими плитами), устройства, создающие комфортные климатические условия (кондиционеры, вентиляторы, обогреватели и т.п.); объекты физкультурно-оздоровительного назначения (тренажерные залы, сауны, джакузи и т.п.). Как правило, это однофазные потребители электроэнергии.

В коттеджах наряду с перечисленными потребителями могут быть использованы различные насосные установки, водогрейные котлы, электроотопительные приборы и тому подобные инженерные устройства. Кроме того, на приусадебных участках могут применяться механизмы: газонокосилки, электропилы и пр. Частично такие потребители являются трехфазными.

Во всех типах рассматриваемой категории жилищ используются привязанные к определенному месту бытовые приборы: холодильники и холодильные камеры, микроволновые печи, посудомоечные машины, кухонные комбайны, стиральные машины, теле- и радиоаппаратура и т.п. К этой же категории потребителей относятся и персональные компьютеры в комплекте с периферийными устройствами (принтеры, плоттеры, сканеры и др.).

Широкую гамму бытовых электроприборов составляют переносные, периодически используемые приборы: пылесосы, утюги, электрофены, электробритвы, электрочайники, кофеварки, грили и пр.

При проектировании электроустановок квартир повышенной комфортности и коттеджей целесообразно разделить бытовые потребители электроэнергии на четыре группы:

- I группа – электрическое освещение;
- II группа – потребители розеточной сети;
- III группа – потребители однофазные, требующие отдельного подвода электроэнергии;
- IV группа – потребители трехфазные.

Указанное разделение позволяет:

- рационально построить распределительную сеть;
- выбрать защитную и коммутационную электрическую аппаратуру, удовлетворяющую требованиям селективности, надежности и безопасности;
- обеспечить равномерную загрузку фаз (при трехфазной сети);
- рационально скомпоновать и разместить электрооборудование в жилище;
- выполнить электрические проводки наиболее экономичным способом, не нарушая архитектурные и дизайнерские решения в жилище.

При проектировании электроустановки в жилище важную роль играет знание режимов работы бытовых потребителей и их влияние на питающую сеть.

Под понятием «режим работы» подразумевается длительность времени включения в электрическую сеть, времени потребления электрической энергии, а также периодичность использования. В табл. 1.5 приведены данные, характеризующие режимы работы бытовых электроприборов.

Режим работы бытовых электроприборов

Режим работы	Параметры, характеризующие режим работы	Примеры	Примечание
Длительный непрерывный	Постоянно (более 1 ч) включен в электрическую сеть и потребляет электроэнергию	Электрическое освещение, телерадиоаппаратура, компьютеры	–
Длительный прерывистый	Постоянно (более 1 ч) включен в электрическую сеть; электроэнергию потребляет при отклонениях заданного параметра	Насосные установки на период заполнения или опорожнения емкости; водонагревательные и отопительные приборы на период нагрева до заданной температуры; холодильники на период включения компрессора до заданной температуры	Работа в автоматическом режиме
Длительный эпизодический	Включен в электрическую сеть более 30 мин и потребляет электроэнергию	Пылесосы, стиральные машины, утюги, газонокосилки, сауны и т.п.	–
Кратковременный эпизодический	Включен в электрическую сеть менее 30 мин и потребляет электроэнергию	Чайники, кофеварки, электрофены, электробритвы и т.п.	–

Этими данными рекомендуется пользоваться при определении расчетных электрических нагрузок, применяя коэффициенты спроса, использования, совмещения максимума нагрузок.

Не менее важным для работы электроприемников жилища является качество электроэнергии, которое определяется, с одной стороны, питающей системой электроснабжения, а с другой – влиянием бытовых потребителей на питающую сеть.

Нормы качества электроэнергии в системах общего назначения определены ГОСТ 13109-97. Среди этих показателей следует отметить

отклонения и колебания напряжения питающей сети. Например, снижение напряжения приводит к заметному снижению светового потока ламп накаливания и резкому сокращению срока службы этих ламп. Увеличение напряжения приводит к росту потребляемой реактивной мощности люминесцентными лампами. К колебаниям напряжения очень чувствительны осветительные приборы, особенно лампы накаливания, и электронная техника.

Колебания напряжения, вызывающие мигание источников освещения (фликкер-эффект), приводят к утомлению зрения человека, что снижает производительность труда, а в ряде случаев может привести и к травматизму. Кроме того, колебания напряжения нарушают нормальную работу телевизоров, телефонной связи, компьютерной техники и т.д.

Несимметрия напряжений значительно влияет на работу однофазных электроприемников, если фазные напряжения не равны. Так, например, лампы накаливания, подключенные к фазе с более высоким напряжением, имеют меньший срок службы.

Несинусоидальность напряжения, обусловленная электроприемниками с нелинейной вольт-амперной характеристикой, вызывает появление в сети высших гармонических составляющих тока и напряжения. Это приводит к дополнительным потерям активной мощности во всех элементах системы электроснабжения, а также к ухудшению или нарушению работы устройств автоматики, телемеханики, компьютерной техники и других устройств с элементами электроники.

Влияние бытовых потребителей на питающую сеть определяется:

- коэффициентом мощности ($\cos\varphi$) потребителей с длительным режимом работы;
- генерированием третьей гармонической составляющей тока;
- неравномерностью загрузки фаз.

Это приводит к увеличению токов, протекающих в фазных проводниках, а наличие третьей гармонической составляющей может вызвать протекание в нулевом рабочем проводнике тока, превышающего токи в фазных проводниках.

Ниже приведены коэффициенты мощности отдельных бытовых электроприемников:

Типы потребителей	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$
Лампы накаливания	1,0 / 0
Люминесцентные лампы	0,92 / 0,426
Холодильники	0,65 / 1,168
Насосы, вентиляторы, кондиционеры при мощности двигателя до 4 кВт	0,75 / 0,882
То же, при мощности двигателя свыше 4 кВт	0,85 / 0,62
Телерадиоаппаратура	0,65 / 1,168
Водонагреватели, электроотопители	1,0 / 0
Сауны	1,0 / 0
Джакузи	0,8 / 0,75
Персональные компьютеры (для обеспечения электромагнитной совместимости рекомендуется применять с блоками питания, оснащенными фильтрами высших гармоник)	0,65 / 1,168

Указанные факторы влияния бытовых потребителей на питающую сеть необходимо учитывать при проектировании электроустановок в жилище, а именно:

- при выборе защитной и коммутационной аппаратуры;
- при выборе сечения жил проводов, кабелей и способов их прокладки;
- при распределении подключения отдельных электропотребителей по фазам.

1.4. Резервирование питания электроприемников в сети 0,4 кВ

Категории электроприемников по надежности их электроснабжения в общем виде сформулированы в ПУЭ. Основным критерием, характеризующим надежность, является время перерывов электроснабжения. Ниже перечислены три категории электроприемников.

Электроприемники *I* категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух взаимно резервирующих независимых источников питания и допускают в аварийных режимах перерыв в электроснабжении на время автоматического восстановления питания.

Электроприемники *II* категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух взаимно резервирующих независимых источников

питания и допускают в аварийных режимах перерыв в электроснабжении на время восстановления питания обслуживающим персоналом (дежурный персонал или выездные оперативные бригады).

Электроприемники *III категории* могут получать питание от одного источника при условии, что в случаях аварий и неисправностей время для их устранения не превышает 1 сутки.

Степень обеспечения надежности электроснабжения жилых зданий и отдельных потребителей определена в СП 31-110-2003.

В соответствии с этим различные потребители многоэтажных жилых домов, относящиеся к системам безопасности (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной и охранной сигнализации и т.п.), принадлежат к I категории.

Жилые 1–8-квартирные дома с электроплитами относятся к III категории.

Жилые дома свыше 5 этажей с газовыми плитами – ко II категории, до 5 этажей – к III категории. Строения на участках садоводческих товариществ – к III категории.

Однако для жилища повышенной комфортности и коттеджей заказчик вправе предъявить требования по обеспечению более высокой степени надежности электроснабжения, чем это предписано нормативными документами.

Для многоэтажных многоквартирных жилых домов, независимо от комфортности отдельно взятой квартиры, надежность электроснабжения общедомовых потребителей решается в проектах электротехнической части всего дома.

Учитывая, что, как правило, к любой квартире в многоквартирном доме проектами обеспечивается только один подвод питания, степень надежности электроснабжения такой квартиры будет определяться надежностью электроснабжения всего дома. Если в квартире имеются потребители, требующие более высокой категории надежности питания (например, компьютеры, системы безопасности – пожарная сигнализация, видеонаблюдение и т.п.), то целесообразно вопросы повышения надежности электроснабжения рассматривать в комплексе с вопросами качества электроэнергии.

Повышение надежности электроснабжения коттеджей может быть достигнуто:

- обеспечением ввода от второго независимого источника питания;
- установкой автономных источников питания дизель-генераторной электростанции или агрегатов бесперебойного питания;

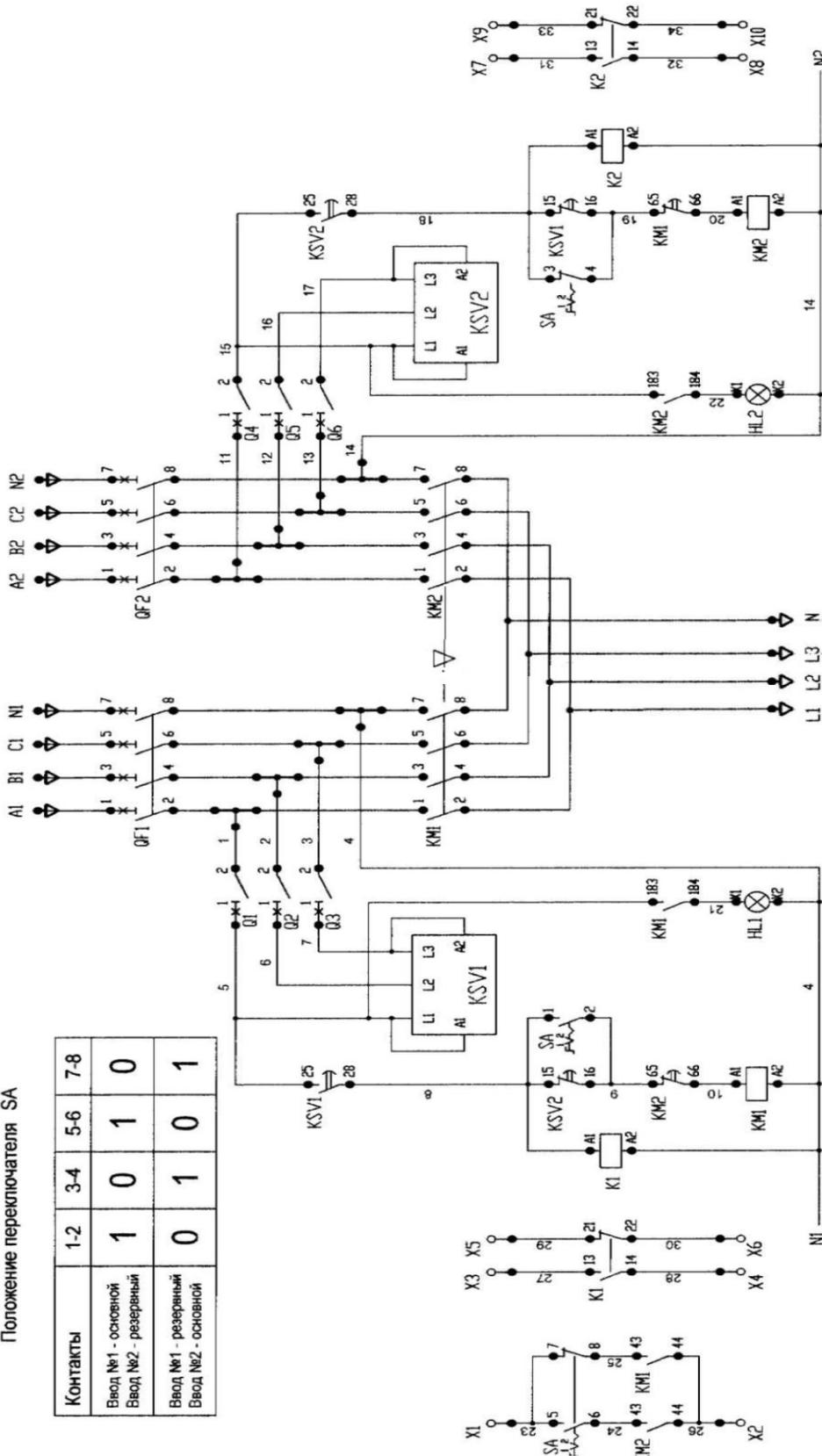
– решением электроснабжения отдельных потребителей в комплексе с вопросами качества электроэнергии.

В первых двух случаях необходимо на вводах в коттедж в проектах электрооборудования коттеджа предусматривать автоматическое включение резервного ввода (АВР).

Существует целая серия типовых решений по реализации указанных АВР. Для бытовых целей, в том числе и для коттеджей, наиболее приемлемой является схема АВР для трехфазной системы электроснабжения, приведенная на рис. 1.1. Эта схема построена на базе применения в основном электрооборудовании серии Multi9, а также других серий модульного исполнения и может быть скомпонована в шкафах серии Pragma.

Положение переключателя SA

Контакты	1-2	3-4	5-6	7-8
Ввод №1 - основной	1	0	1	0
Ввод №2 - резервный	0	1	0	1



Сигнал срабатывания АВР	Сигнал отсутствия U на вводе 1	Управление катушкой контактора KM1	Контроль напряжения ввода №1	Сигнализация	Ввод №1	Отходящие линии	Ввод №2	Сигнализация	Контроль напряжения ввода №2	Управление катушкой контактора KM2	Сигнал отсутствия U на вводе 2
-------------------------	--------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--------------	---------	-----------------	---------	--------------	------------------------------	------------------------------------	--------------------------------

Рис. 1.1. Принципиальная схема АВР

Схема работает следующим образом. Вводные автоматические выключатели QF1 и QF2, а также выключатели защиты цепей контроля и управления Q1–Q6 постоянно включены. При наличии напряжения во всех фазах на вводах реле контроля напряжения KSV1 и KSV2 подтянуты. Любой из вводов может быть основным или резервным, что определяется положением переключателя SA. Один из контактов KM1 или KM2, относящийся к основному вводу, включен.

При исчезновении напряжения на основном вводе или на одной из его фаз обесточивается реле контроля напряжения основного ввода и включается цепочка управления контактора резервного ввода.

При восстановлении напряжения на основном вводе срабатывает реле контроля напряжения этого ввода и вновь включается его контактор. Блок-контакты контактора имеют выдержку времени на отпускание, обеспечивающую предотвращение срабатывания АВР при кратковременных «посадках» напряжения на основном вводе.

1.5. Примеры выполнения электрических сетей жилых зданий

В качестве иллюстраций вариантов выполнения электрических сетей жилых зданий приведены схемы на рис. 1.2 – 1.6, являющиеся отдельными фрагментами полной принципиальной схемы электрической сети 105-квартирного дома от вводного распределительного устройства по трем подъездам и 9 этажам. На рис. 1.2 показана электрическая схема организации ввода в дом и АВР, обеспечивающего переключение контактов KM либо на питание от ввода 1 (нормальный режим), либо на питание от второго резервирующего ввода 2. Сигнальные лампы HL1 и HL2 служат для видимой индикации работающего ввода. Отметим, что резервированию в данном случае подлежит питание только общедомовых нагрузок, включая питание лифтов, которые подключены к отдельному щитку (рис. 1.3). Для остальных нагрузок переключение на ввод 2 выполняется вручную (QS1 и QS2). Насосы водоснабжения имеют самостоятельную систему электроснабжения.

Два автоматических выключателя 250 / 160 А обеспечивают защиту двух распределительных щитов вводного распределительного устройства (ВРУ), от которых питаются этажные распределительные щиты. На входе в каждый щит установлены электрические счетчики.

На рис. 1.4 приведена принципиальная схема одного из двух щитов ВРУ, на котором установлены линейные автоматические выключатели для защиты этажных распределительных щитов. Как видно на приведенной схеме, на первом этаже расположены три квартиры, на остальных этажах – по четыре квартиры. От каждого линейного автоматического выключателя питаются только три этажных щита, от которых, в свою очередь, питаются квартирные щиты.

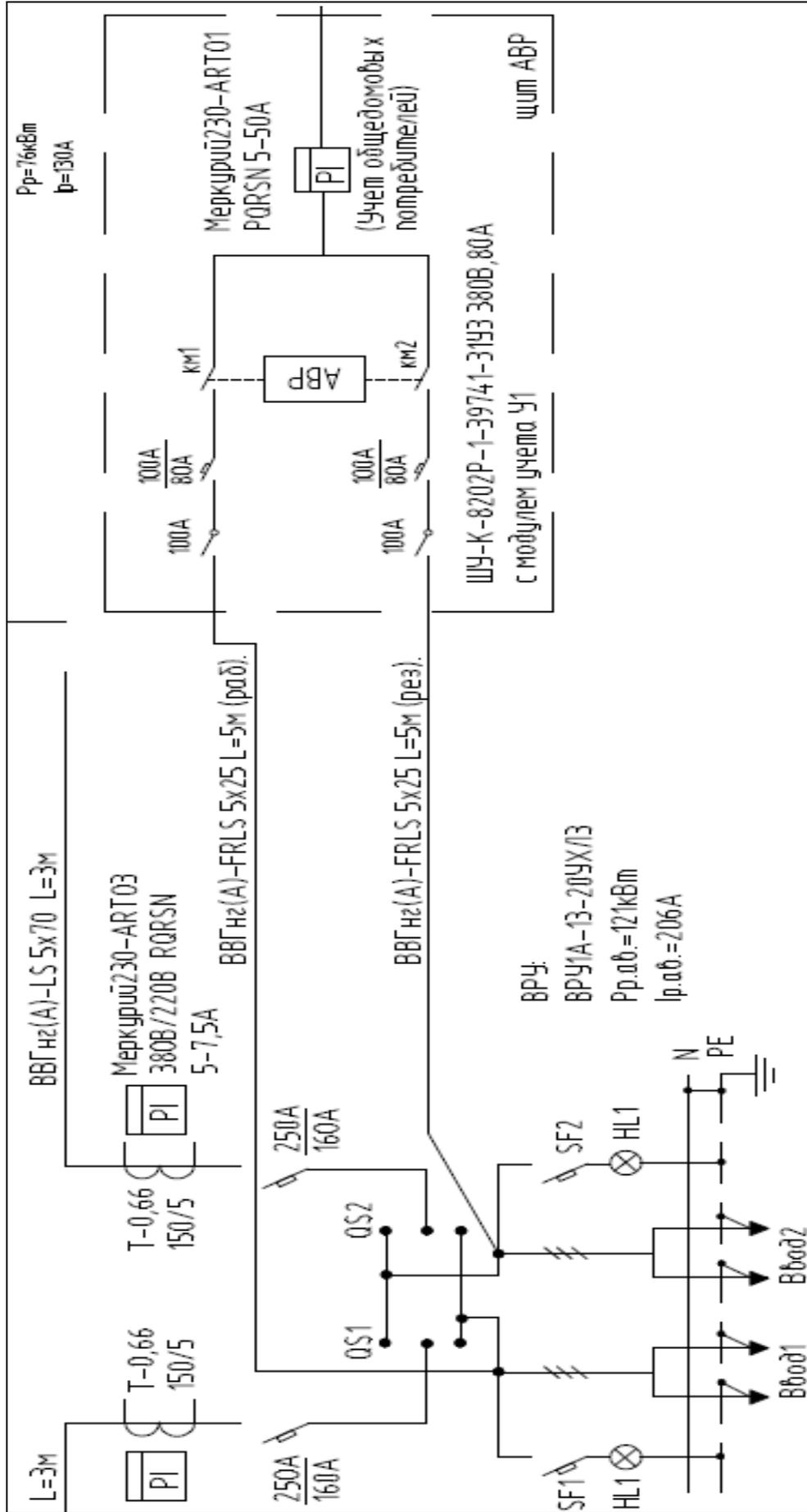


Рис. 1.2. Вводы и АВР электрической сети системы электроснабжения дома

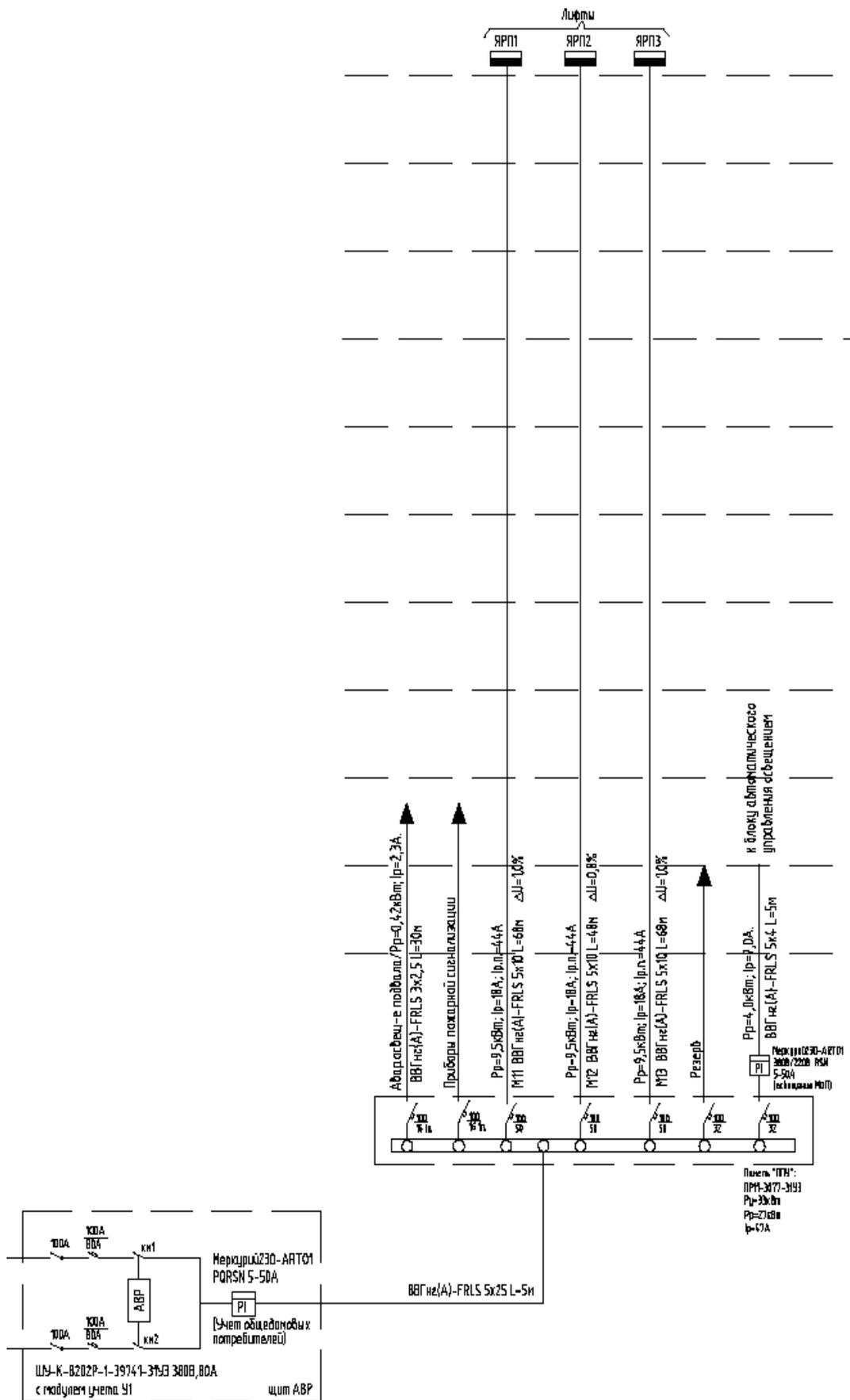


Рис. 1.3. Принципиальная схема питания общедомовых нагрузок

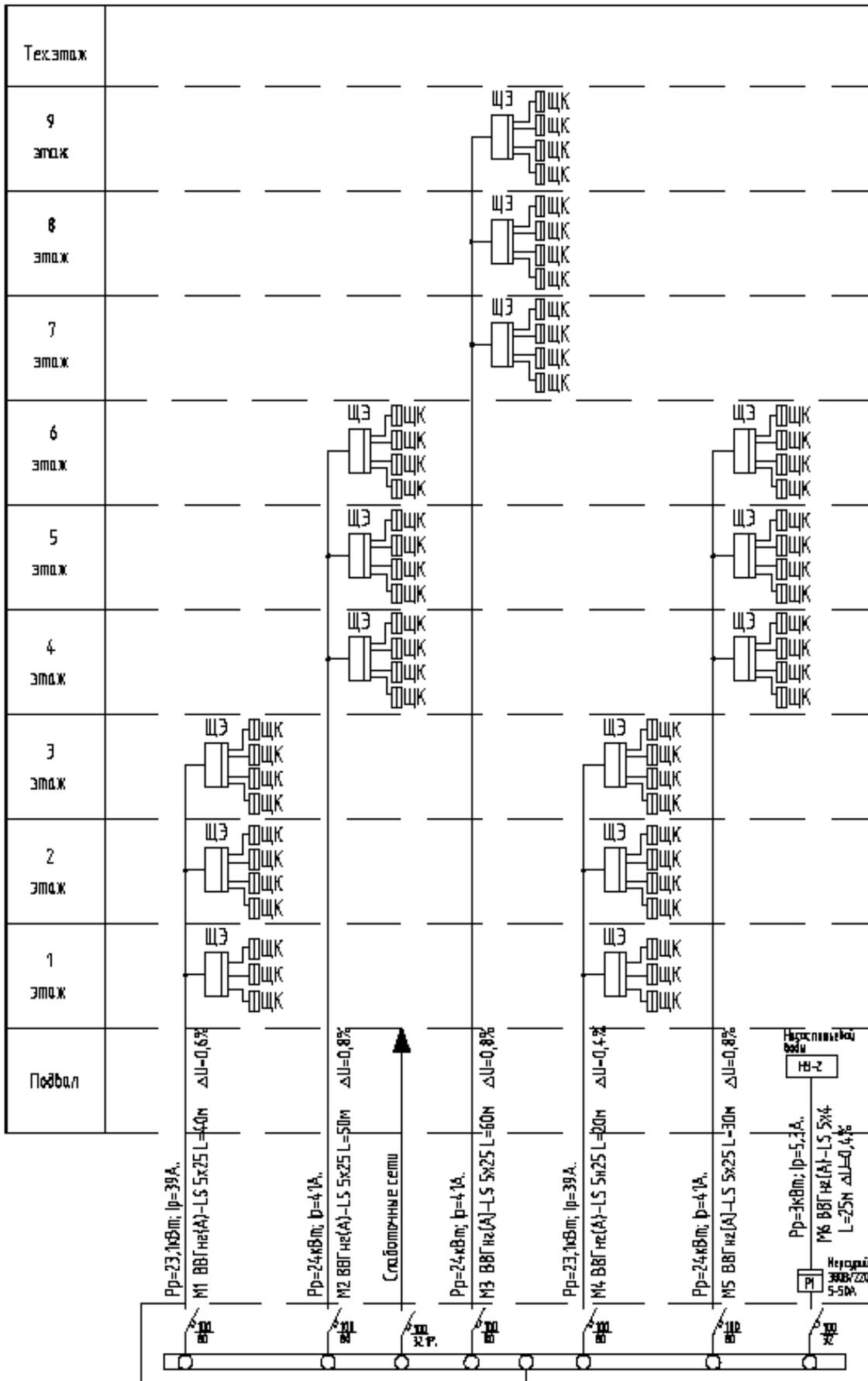


Рис. 1.4. Принципиальная схема питания этажных щитков

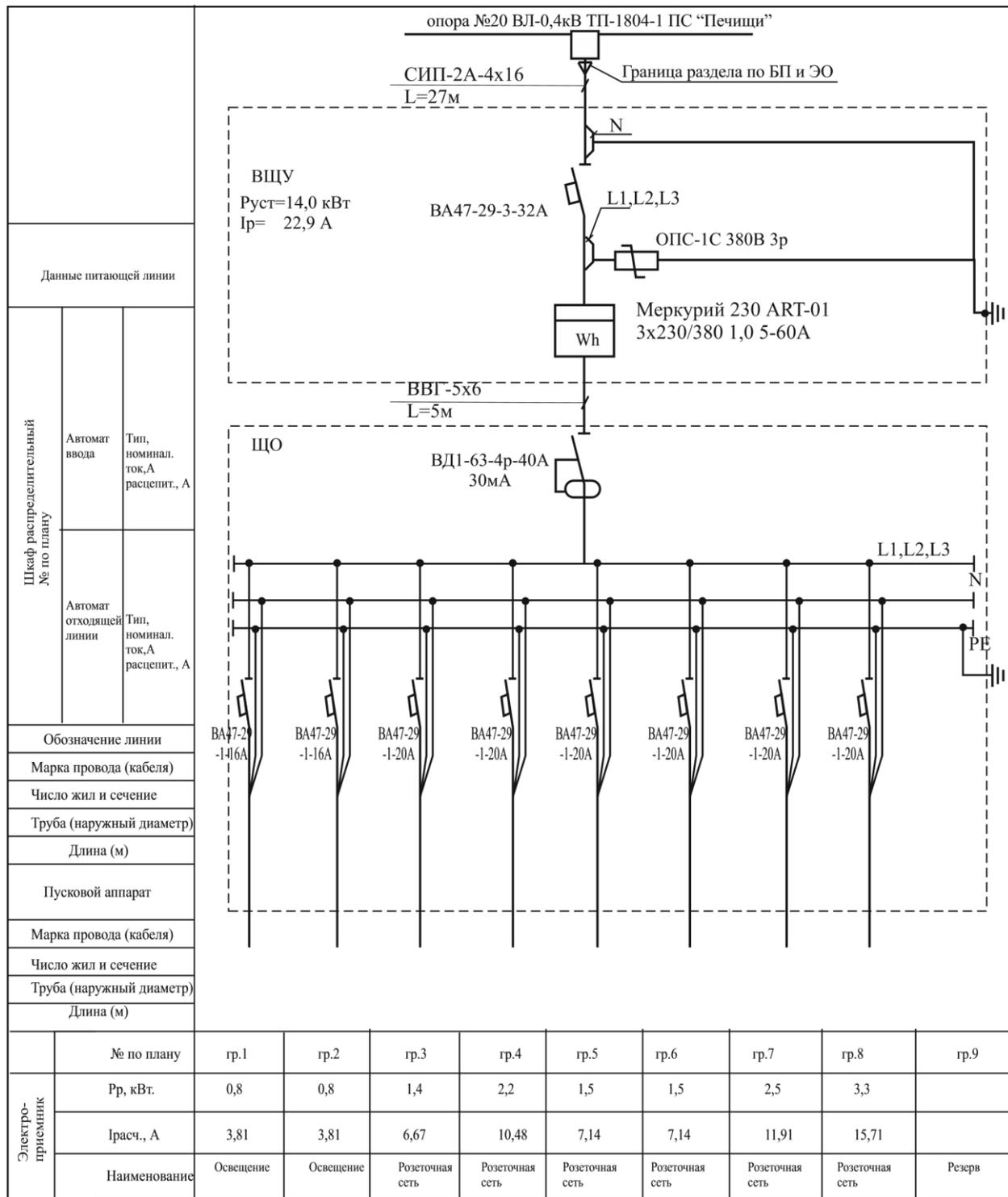


Рис. 1.5. Устройство защитного отключения индивидуального жилого дома

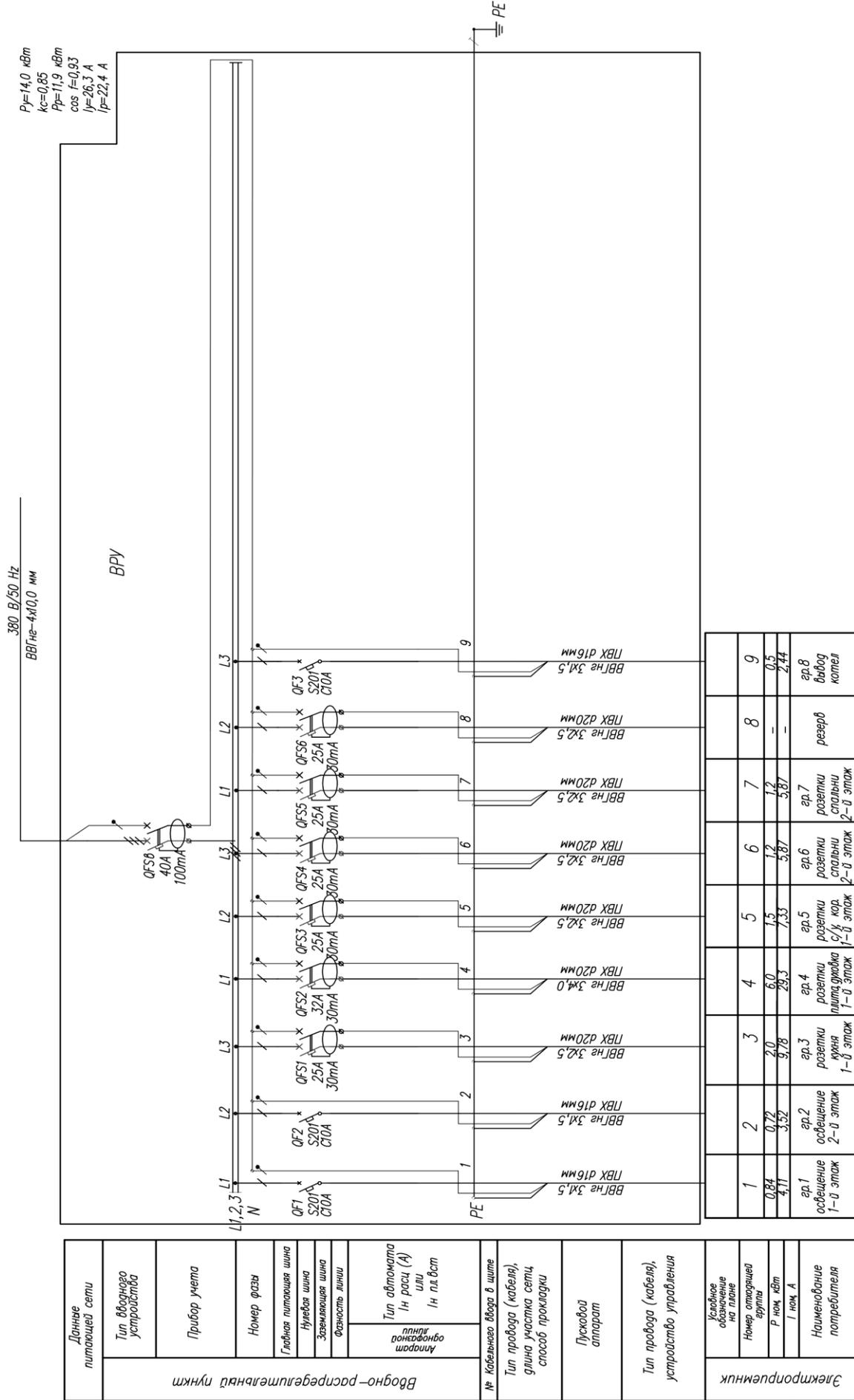


Рис. 1.6. Принципиальная схема ВРУ загородного дома

Схемы питания индивидуальных жилых домов имеют отличия от схем многоэтажных домов и представлены ниже. На рис. 1.5 приведена принципиальная схема электроснабжения индивидуального жилого дома с заявленной мощностью 14 кВт. Для такого случая принят однофазный ввод в дом, но при этом используется четырехжильный алюминиевый самонесущий изолированный провод, которым выполнена вся внешняя электрическая сеть. Щит ввода ВЩУ расположен вне дома для обеспечения свободного доступа к электрическому счетчику. Он связан с внутридомовым распределительным щитом ЩО медным проводом длиной 5 м. Устройство защитного отключения (УЗО) на 30 мА установлено в щите ЩО и действует на выключатель ВД (рис. 1.5).

На рис. 1.6 приведена принципиальная схема ВРУ загородного дома. Для ввода использован четырехжильный медный провод сечением жил 10 мм^2 . Автоматический выключатель QSFb выбран на номинальный ток 40 А и при отключении разрывает все три фазы и нулевой провод. Последнее необходимо для безопасности ремонта внутренней электрической сети, так как при некоторых видах повреждений во внешней электрической сети на нулевом проводе может присутствовать потенциал.

Также непосредственно за автоматическим выключателем установлено УЗО на 100 мА (принцип работы описан ниже).

ВРУ содержит 6 двухполюсных автоматических выключателей для питания розеток и 3 однополюсных автоматических выключателя для питания освещения и электродуховки. Вся внутренняя сеть выполнена медными проводами.

Контрольные вопросы

1. Объясните, в чем заключаются требования к электроустановкам современных квартир и коттеджей.
2. Назовите категории квартир и коттеджей и их характеристики.
3. Разъясните влияние на питающую сеть режимов работы бытовых потребителей электроэнергии.
4. Объясните, как обеспечить резервирование питания электроприемников в сети 0,4 кВ.
5. Нарисуйте принципиальные схемы электрических сетей жилых зданий и объясните их работу.

2. УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 КВ

2.1. Основные принципы учета электроэнергии

Основным нормативным документом, регламентирующим учет электроэнергии в Российской Федерации, являются правила учета электрической энергии. Кроме этого, в отдельных регионах РФ для отдельных категорий потребителей выпущены дополнительные инструкции, уточняющие общероссийские нормы применительно к местным условиям. Например, в г. Москве действует Инструкция по проектированию учета электропотребления в жилых и общественных зданиях РМ-2559.

В учебном пособии далее используется терминология, принятая в нормативном документе РМ-2559.

На основании указанных выше нормативных документов, основные принципы организации учета электроэнергии в жилых зданиях заключаются в следующем.

1. Для учета электроэнергии должны использоваться средства измерений, типы которых утверждены Госстандартом России и внесены в государственный реестр средств измерений. Перечень типов счетчиков, используемых для расчетов за электроэнергию и принимаемых на баланс, устанавливается энергоснабжающей организацией.

2. В проекте электрооборудования на принципиальной электрической схеме для каждого абонента должны приводиться следующие данные: по категории надежности электроснабжения, об установленных мощностях, расчетных нагрузках и коэффициентах реактивной нагрузки. Если в составе потребителя имеются нагрузки, относящиеся к разным тарификационным группам, то эти данные также должны быть приведены в проекте.

3. Граница раздела балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности, как правило, должна устанавливаться на вводе в здание на конечниках питающих кабелей.

4. При питании нагрузок жилого дома от встроенной или пристроенной трансформаторной подстанции (ТП) граница раздела с энергоснабжающей организацией определяется проектной организацией по согласованию с заказчиком и энергоснабжающей организацией.

5. Если в здании расположено несколько потребителей, обособленных в административно-хозяйственном отношении, то на каждого потребителя, в том числе арендатора, возлагаются обязанности абонента.

6. Все вновь строящиеся и реконструируемые дома, как правило, должны оснащаться автоматизированными системами учета электропотребления (АСКУЭ) (требования для г. Москвы).

7. При переоборудовании и при перепланировке квартир жилых домов и нежилых помещений владелец должен обеспечить разработку проекта электрооборудования квартир или нежилого помещения, предварительно получив технические условия по организации учета, разрешение на использование электроэнергии для термических целей и разрешение на присоединение мощности в энергоснабжающей организации.

2.2. Организация учета электроэнергии при проектировании многоквартирных жилых домов

Рассмотрим здесь только те требования, которые связаны с организацией учета в жилых домах. Для расчета за электроэнергию расчетные счетчики должны устанавливаться:

- при одном абоненте – на вводе в здание;
- при двух и более абонентах – на вводах каждого абонента;
- на нагрузку освещения и инженерных систем, общих для здания.

Число расчетных точек учета определяется количеством потребителей, количеством вводов к каждому абоненту с учетом тарификационных групп потребителей у каждого абонента.

В жилых многоквартирных домах расчетные квартирные счетчики должны, как правило, устанавливаться в запираемых шкафах, располагаемых на лестничных клетках или поэтажных коридорах.

Расчетные квартирные счетчики рекомендуется размещать совместно с аппаратами защиты на общеэтажных щитках. На каждую квартиру следует, как правило, предусматривать один расчетный счетчик.

При невозможности разместить в этажном щитке приборы учета, вводные и распределительные защитные аппараты допускается установка счетчиков и вводных защитных аппаратов на лестничной клетке или поэтажном коридоре, а остальной аппаратуры – на щите внутри квартир.

Устройство трехфазного ввода в квартиру следует предусматривать при наличии в квартире трехфазных электроприемников или при расчетной мощности более 11 кВт. Рекомендуется применять трехфазный ввод для квартир, оборудованных по III и IV уровню электрификации быта, согласно МГСН 2.01-94 «Энергосбережение в зданиях».

На вводе в квартиру должен устанавливаться защитный аппарат, обеспечивающий защиту от сверхтоков, с током расцепителя, соответствующим расчетной нагрузке на вводе. Для квартир после их перепланировки и переоборудования номинальный ток расцепителя защитного аппарата должен соответствовать разрешенной мощности на присоединение. При этом должна учитываться селективность вводного защитного аппарата с защитными аппаратами на отходящих линиях.

На рис. 2.1 для примера приведена рекомендуемая схема организации учета электроэнергии в жилых домах высотой 10 этажей и более.

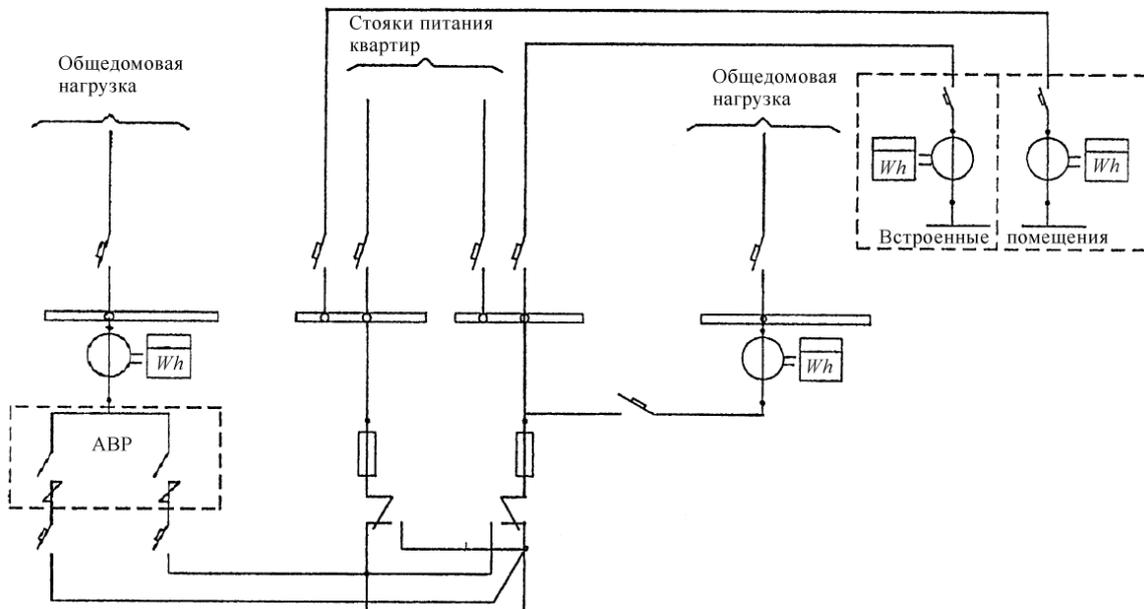


Рис. 2.1. Схема учета электроэнергии в жилых домах высотой 10 этажей и выше

Если сравнивать эту схему со схемой, приведенной на рис. 1.2 для 9-этажного дома, то наблюдаются отличия в общем количестве счетчиков и их размещении на линиях-стояках.

Жилые дома, по техническим условиям энергоснабжающих организаций, оснащаются автоматизированными системами коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ). Как правило, АСКУЭ должна обеспечивать поквартирный и поценовой учет:

- всех основных видов энергоресурсов;
- электроэнергии в многотарифном режиме;
- водопотребления (горячей и холодной воды);
- газопотребления;
- теплотребления,

а также:

- возможность учета других энергоресурсов;
- дистанционный многотарифный коммерческий учет и достоверный контроль потребления энергоресурсов;
- автоматизированный расчет потребления и возможность выписки электронных счетов абонентам для оплаты потребленных энергоресурсов;
- выдачу данных и обмен аналитической информацией между структурами ЖКХ и энергоснабжающими организациями при решении задач управления потреблением энергоресурсов и энергосбережения;

- внутриобъектный баланс поступления и потребления энергоресурсов с целью выявления очагов несанкционированного потребления;
- информирование потребителей о состоянии оплаты и потребления энергоресурсов;
- возможность изменения тарифов путем перепрограммирования технических средств, установленных на объектах учета, с обязательным документированием этого события техническими средствами;
- возможность расширения функций без изменения общей структуры АСКУЭ, установленных на объектах учета.

Каждая АСКУЭ должна позволять применять дифференцированные по зонам суток тарифы на электроэнергию и другие энергоресурсы, а также обеспечивать контроль переключения системы с тарифа на тариф с передачей указанной информации в диспетчерский пункт АСКУЭ со временем исполнения, как правило, до 5 мин.

Аппаратура и линии связи АСКУЭ должны соответствовать требованиям, которые предъявляются к системам коммерческого учета. В пределах объекта (жилой дом) съем и передачу показаний потребления энергоресурсов следует, как правило, проводить по самостоятельным линиям связи.

Допускается использование для этой цели других технических решений при условии выполнения требований по точности и надежности передаваемой информации, определяемой требованиями энергоснабжающих организаций к учету энергоресурсов.

2.3. Организация учета электроэнергии при проектировании индивидуальных жилых домов

Как правило, на весь коттеджный участок, находящийся в ведении одного абонента, должен быть предусмотрен один расчетный счетчик электроэнергии, устанавливаемый на вводе в коттедж. Однако возможны варианты, когда расчетный счетчик может устанавливаться отдельно на вводе в дом, гараж и т.п. Для индивидуальных жилых домов рекомендуется применять трехфазный ввод с установкой трехфазного счетчика.

При наличии в индивидуальных жилых домах нагрузки электроотопления более 10 кВт следует устанавливать самостоятельный расчетный счетчик на данную нагрузку.

Приборы учета должны размещаться в специальных шкафах заводского изготовления. Вводной щиток должен размещаться на границе участка индивидуального владения.

Допускается размещать вводной щиток на стене здания, а также внутри здания, в непосредственной близости от входа, по согласованию с энергоснабжающей организацией.

На вводе в дом или другое частное сооружение должен устанавливаться защитный аппарат, обеспечивающий защиту от сверхтоков, с номинальным током расцепителя, соответствующим расчетной нагрузке на вводе и разрешенной мощности на присоединение с учетом селективности.

2.4. Основные требования к установке приборов учета

Установка приборов учета должна выполняться с учетом Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и инструкций энергоснабжающих организаций. Приборы учета приобретаются и устанавливаются за счет потребителей и передаются на баланс энергоснабжающей организации безвозмездно.

Установка счетчиков должна осуществляться на жестких основаниях щитков, на панелях ВРУ и на других конструкциях, не допускающих сотрясений и вибраций. Крепление счетчиков должно быть обеспечено с лицевой стороны.

Конструкции панелей ВРУ, щитков и т.п. должны обеспечивать безопасность и удобство установки и замены счетчиков, подключения к ним проводов, а также безопасность обслуживания.

Для установки счетчиков, трансформаторов тока и испытательных коробок в панелях ВРУ должны предусматриваться самостоятельные отсеки с запирающимися дверьми. Трансформаторы тока рекомендуется устанавливать над счетчиками. При этом между счетчиками и трансформаторами тока должна устанавливаться горизонтальная перегородка из изоляционного материала. При размещении двух комплектов трансформаторов тока на одном щите между ними должна быть перегородка из изоляционного материала.

В местах, где имеется опасность механических повреждений счетчиков или их загрязнения, или в местах, доступных для посторонних лиц, для счетчиков должен предусматриваться запирающийся шкаф с окошком для снятия показаний.

В многоквартирных жилых домах счетчики должны устанавливаться в этажных щитах с запирающимися дверьми, имеющими проемы для снятия показаний. В электрощитовых жилых зданий счетчики устанавливаются на панелях ВРУ или в отдельных щитках. Допускается установка счетчиков

на стене на деревянных, пластмассовых или металлических щитках. При этом расстояние до стены должно быть не менее 100 мм.

Высота от пола до коробки зажимов счетчиков рекомендуется в пределах 1,0–0,7 м. Не допускается установка счетчиков в помещениях, где температура может превышать +45 °С.

Допускается установка счетчиков в неотапливаемых помещениях, а также в шкафах наружной установки, если условия эксплуатации счетчиков (технические характеристики) предусматривают возможность такой установки. Около каждого расчетного счетчика должна быть надпись о наименовании присоединения.

Включение трехфазных счетчиков через трансформаторы тока должно выполняться с помощью испытательных колодок, устанавливаемых непосредственно под счетчиком или рядом с ним.

Трехфазные счетчики на вводах отдельных квартир, индивидуальных жилых домов и других частных сооружений следует применять прямого включения. Трехфазные счетчики на общедомовую нагрузку жилых домов следует включать через трансформаторы тока.

Перед расчетными счетчиками, непосредственно включенными в сеть, на расстоянии не более 10 м по длине проводки должен быть установлен защитный аппарат, позволяющий снять напряжение со всех фаз для безопасной замены счетчиков и обеспечивающий защиту сети от перегрузки.

После счетчика должен быть установлен аппарат защиты не далее, чем на расстоянии 3 м по длине электропроводки, если после счетчика на отходящих линиях или линии не предусмотрены защитные аппараты.

Если после счетчика отходят несколько линий, снабженных аппаратами защиты, установка общего аппарата защиты не требуется. Если после счетчика отходят несколько линий, снабженных аппаратами защиты, которые размещены за пределами помещения, где установлен счетчик, то после счетчика должен быть установлен общий отключающий аппарат.

Счетчики для квартир рекомендуется размещать совместно с аппаратами защиты. При установке квартирных щитков в прихожих квартир счетчики могут устанавливаться на этих щитках, допускается их установка в этажных щитках. Место установки счетчика согласовывается с местным отделением энергосбыта с учетом типа здания и планировочных решений.

Счетчики следует выбирать с учетом их допустимой перегрузочной способности. Сечение и длина проводов и кабелей, используемых для цепей напряжения счетчиков, должны выбираться так, чтобы потеря напряжения составляла не более 0,5 % номинального напряжения.

Сечение жил проводов и кабелей для внешних соединений счетчиков должно быть не менее, мм²:

	Медь	Алюминий
Цепи трансформаторов тока	2,5	4,0
Цепи трансформаторов напряжения	1,5	2,5

Максимальное сечение жил проводов и кабелей определяется конструкцией клемм счетчиков.

При применении многопроволочных проводов, подключаемых к счетчику, концы их должны быть облужены. Концы проводов или жил кабелей, идущих от трансформаторов тока к системам, должны иметь соответствующую маркировку.

При подключении счетчиков непосредственного включения необходимо оставить концы жил длиной не менее 120 мм. Нулевой провод на длине 100 мм перед счетчиком должен иметь отличительную окраску.

2.5. Счетчики электрической энергии

Основным элементом, обеспечивающим учет электроэнергии, является счетчик электрической энергии.

Счетчик электрической энергии – интегрирующий по времени прибор, измеряющий активную и (или) реактивную энергию.

Активная мощность, измеряемая счетчиком, определяется выражениями:

– для однофазного счетчика, Вт:

$$P_{1\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi;$$

– для трехфазного двухэлементного счетчика, Вт:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} U_{л} I \cos \varphi;$$

– для трехфазного трехэлементного счетчика в четырехпроводной сети, Вт:

$$P_{3\phi\phi} = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_{31}.$$

Реактивная мощность, измеряемая счетчиком реактивной энергии,

определяется выражением, ВАр:

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}}I\sin\phi.$$

Все счетчики характеризуются классом точности, который представляется как число, равное пределу допускаемой погрешности, выраженной в процентах, для всех значений диапазона измерений тока, от минимального до максимального значения, и коэффициента мощности, равного единице, при нормальных условиях, установленных стандартами или техническими условиями на счетчик. На щитке счетчика класс точности обозначается цифрой в круге, например ①.

Точность измерения электрической энергии счетчиком можно оценить погрешностью счетчика, которая определяется его систематической составляющей, порогом чувствительности, самоходом, точностью регулировки внутреннего угла, дополнительными погрешностями.

Погрешность счетчика δ_c зависит от значений тока и $\cos\phi$. Зависимость погрешности от тока и коэффициента мощности называют нагрузочной характеристикой счетчика.

Самоход счетчика – движение диска или мигание индикаторов счетчика под действием приложенного напряжения и при отсутствии тока в последовательных цепях.

Порог чувствительности счетчика – наименьшее нормируемое значение тока, которое вызывает изменение показаний счетного механизма при номинальных значениях напряжения, частоты и $\cos\phi = 1$.

В табл. 2.1 приведены технические характеристики наиболее часто применяемых электросчетчиков.

Контрольные вопросы

1. Расскажите, в чем заключаются основные принципы учета электроэнергии.
2. Назовите основные требования к установке приборов учета.
3. Перечислите основные типы счетчиков электрической энергии.
4. Объясните, как организовать учет электроэнергии при проектировании индивидуальных жилых домов.
5. Объясните, как организовать учет электроэнергии при проектировании многоквартирных жилых домов.

Таблица 2.1

Технические данные наиболее применяемых счетчиков

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание		
<i>Однофазные индукционные</i>										
СО-505	Измерение активной энергии	220	10 – 40	2,0	Импульсный телеметрический датчик	200 × 128 × 114	1,2	Рекомендуется для применения в быту		
СО-449М1		127 220	5 – 20 10 – 40			215 × 134 × 111	1,3	Круглый корпус		
СО-И449М2		127 220	5 – 20 10 – 40			203 × 121 × 116		Прямоугольный корпус		
СО-ЭС6705		220				220 × 148 × 122	1,6	–		
СО-ЭС6706			10 – 40			215 × 134 × 115	1,3	Заменяет счетчики СО-2, СО-2М, СО-6, СО-6М, СО-И446, СО-И446М		
СО-ЭС6706-1		220	5 – 20 10 – 40			203 × 121 × 116	1,6	Установка режимов («дневной», «льготный») осуществляется от внешнего пульта		
СО-ИБ1						5 – 30		96 × 140 × 112	–	–
СО-ИБ2		–				10 – 60			–	–

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
<i>Однофазные электронные</i>								
ЦЭ2705-1	Измерение активной энергии	220	0,25 – 50	1,0	Телеметрический датчик, выходной сигнал 30 мА, 24 В	114 × 206 × 71	0,8	–
ЦЭ2705-2				2,0				
ЦЭ2726-11								
ЦЭ2726-12	Измерение активной энергии. Двухтарифный	220	5 – 20	1,0	Телеметрический выход 100 имп/кВт·ч	210 × 135 × 70	1,0	–
ЦЭ6807Д	Прямое включение для измерения активной энергии							0,25 – 50
А100	Измерение активной энергии. Двухтарифный	230	60, 100	1,0 2,0	Импульсный выход. Инфракрасный порт IrDA	–	–	Рекомендуется для применения в быту
СО-ЭС6706-1	Измерение активной энергии	220	5 – 20 10 – 40	2,0	Импульсный телеметрический датчик	210 × 132 × 100	2,0	Установка режимов («дневной», «льготный») от внешнего пульта
СЭБ-1М								
СЭБ-2М	Измерение активной энергии. Двухтарифный	230	5 – 50	1,0; 2,0	Телеметрический датчик с импульсным выходом: 12–24 В; 10–30 мА	140 × 218 × 65	–	–
СЭБ-21М	Измерение активной энергии. Многотарифный							–

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
ЕЕ-300	Измерение активной энергии	220	50, 100	2,0	В модификации ЕЕ-3000. 4-телеметрический датчик	210 × 132 × 100	2,0	–
Меркурий-200	Измерение активной энергии. Многотарифный		5 – 50		Импульсный датчик	156 × 138 × 60	0,5	–
СОЭ-5	Измерение активной энергии. Двухтарифный		5 – 40			208 × 135 × 113	1,0	Рекомендуется для применения в быту
СЭТ1-4А	Измерение активной энергии. Многотарифный				Телеметрический датчик	100 × 203 × 70		
СЭБ-1М	Измерение активной энергии	230	5 – 50	1,0; 2,0	Телеметрический датчик с импульсным выходом: 12 – 24 В; 10 – 30 мА	140 × 218 × 65	–	–
СЭБ-2М	Измерение активной энергии. Двухтарифный						–	–
СЭБ-21М	Измерение активной энергии. Многотарифный						–	–
<i>Трехфазные индукционные</i>								
СА4-И672М	Измерение активной энергии в 4-проводных сетях, прямое включение	220, 380	5 – 10 5 – 20 10 – 20	2,0	–	282 × 173 × 127	3,2	–
СА4У-И672М	Включение через ТТ тока для активной энергии		5 – 6 25		–			–

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
СА3-И670М	Измерение активной энергии	127 220 380	5 – 10 10 – 20	2,0	–	282 × 173 × 127	2,7	–
СА3У-И670М	Измерение активной энергии с включением через ТТ и ТН	100 127 220 380	1 – 1,25 5 – 6,25		–		3,9	–
СА3-И677	Измерение активной энергии	127 220 380	20 – 50 30 – 75 50 – 100		–	294 × 165 × 121	–	
СР4-И673		127 220 380	5 – 10 10 – 20	3,0	–	–		
СР4У-И673М	Измерение активной энергии с включением через ТТ и ТН	100 127 220 380	1 – 1,25 5 – 6,25	2,0	–	282 × 173 × 127	2,7	–
СР4-И679	Измерение активной энергии	127 220 380	20 – 50 30 – 75 50 – 100	3,0	–	294 × 165 × 121	3,9	–
СА3-И670Д	Для работы в АСКУЭ, измерение активной энергии	220 380	5 – 10 10 – 20	2,0	Импульсный датчик. Ток импульса 10 мА	282 × 176 × 127	3,1	–
СА3У-И670Д	Для работы в АСКУЭ, измерение активной энергии с включением через ТТ и ТН	100 220 380	1 – 1,25 5 – 6,25				3,5	–

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание		
СА4-И672Д	Для работы в АСКУЭ, измерение активной энергии с прямым включением в сеть	220 380	5 – 10 10 – 20	2,0	Импульсный датчик. Ток импульса 10 мА	282 × 176 × 127	3,1	–		
СА4У-И672Д	Для работы в АСКУЭ, измерение активной энергии	100 220 380	1 – 1,25 5 – 6,25					–		
СР4-И673Д		220 380	5 – 10 10 – 20	3,0			–			
СР4У-И673Д	Для работы в АСКУЭ, измерение активной энергии с включением через ТТ и ТН	100 220 380	1 – 1,25 5 – 6,25	2,0			–			
СА4У-510	Измерение активной энергии	220/380	5				Фотоэлектронный адаптер с телеметрическим датчиком	283 × 174 × 129	3,2	–
СА4У-514	Измерение активной энергии.		10					–		
СА4У-518	Прямое включение		20	–						

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
<i>Трехфазные электронные</i>								
Ф668-САР	Измерение активной и реактивной энергии в двух направлениях. Многофункциональный. Трехтарифный	100 380 380/220	1 – 7,5 5 – 50 20 – 100	1,0 1,5	Телефонный модем со скоростью 300 бод. Интерфейс передачи данных по силовой сети	294 × 173 × 127	3,0	–
Ф668-СА	Измерение активной энергии в двух направлениях. Многофункциональный. Трехтарифный			1,0				–
Ф668-СР	Измерение реактивной энергии в двух направлениях. Многофункциональный. Трехтарифный			1,5				–

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
Ф669	Измерение активной и реактивной энергии в двух направлениях. Включение через ТТ и ТН	100 110 120 220 230 380 400	1; 5	0,5 1,0	Два интерфейса «токовая петля». Пять оптоэлектронных импульсных выходов по интерфейсу RS-232	328 × 178 × 60	1,6	–
Меркурий-230А	Измерение активной энергии в 3- и 4-проводных сетях. Включение через ТТ и резистивные делители. Многотарифный	220	5 (50)	1,0	Два телеметрических выхода с оптической развязкой. Цифровой интерфейс типа CAN	258 × 170 × 74	1,5	Класс защиты IP51
Меркурий-230АР	Измерение активной и реактивной энергии в 3- и 4-проводных сетях. Включение через ТТ и резистивные делители. Многотарифный	220	10 (100)	1,0; 2,0				
		57,7	5 (7,5)	0,54; 1,0				

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
Альфа А1000	Измерение активной и реактивной энергии в одном или двух направлениях. Многотарифный	380	100	1,0	–	–	–	Рекомендуется для применения в быту
Дельта	Измерение активной и реактивной энергии. Включение прямое и через ТТ и ТН	100 230/400 230	1; 1,5 1; 1,5 5 – 65	1,0; 2,0	Импульсный выход	122 × 100 × 65	0,5	
А2 (Альфа Плюс)	Измерение активной и реактивной энергии. Включение прямое и через ТТ и ТН. Многотарифный	100 220 380	1; 1,5 1; 1,5 80		Импульсный выход и цифровой по интерфейсам RS-232, «токовая петля» или RS-485	262 × 180 × 180	3,0	Круглый корпус
А1600 (Евро Альфа)	Измерение активной энергии в двух направлениях. Включение через ТТ и ТН	57 – 230 100 – 400	1; 5	0,2S; 0,5S		300 × 170 × 80	1,6	Прямоугольный корпус

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
A1300 (Евро Альфа)	Измерение активной энергии. Включение через ТТ и ТН	57/100 100 230/400 230	1; 5	1,0	Импульсный выход и цифровой по интерфейсам RS-232, «токовая петля» или RS-485	300 × 170 × 80	1,6	Рекомендуется для жилищно-коммунального хозяйства
ЦЭ2727	Измерение активной энергии. Включение прямое и через ТТ и ТН. Многотарифный	57,7 100 380 220/380	5 – 10 5 – 50 10 – 100	1,0	Цифровой интерфейс RS-232 или RS-485. Модем для передачи по силовым сетям	282 × 173 × 127	3,0	–
СТС5605-2/05-4Н	Измерение активной и реактивной энергии. Включение через ТТ и ТН	220	5	0,5S	–	–	–	–
СТС5605-2/1-4Н			50	1,0				–
СТС5605-4/05-3	Измерение активной и реактивной энергии в одном направлении. Включение через ТТ и ТН	100	5	0,5S	До 5 телеметрических импульсных выходов. Цифровой интерфейс RS-485 HDX или RS-232	328 × 178 × 60	1,65	–
СТС5605-4/1-3				1,0				–
СТС5605-4/05-4				0,5S				–
СТС5605-4/1-4				1,0				–
		58/100						

Продолжение табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
СТС5605- 2/05-3	Измерение активной и реактивной энергии в одном направлении. Включение через ТТ и ТН	100	5	0,5S	До 5 телеметрических импульсных выходов. Цифровой интерфейс RS-485 HDX или RS-232	328 × 178 × 60	1,65	–
СТС5605- 2/1-3				1,0				–
СТС5605- 2/05-4		58/100		0,5S				–
СТС5605- 2/1-4				1,0				–
СТЭ-560	Измерение активной и реактивной энергии. Двухтарифный	220/380	5 – 80	2,0	Импульсный датчик	325 × 180 × 52	1,6	–
СТЭ-560-2	Измерение активной и реактивной энергии. Включение через ТТ		5					–
СТЭ-560А-2	Измерение активной и реактивной энергии.	57,7/100	1	1,0	–			–
СТЭ-560А-1	Включение через ТТ и ТН			2,0	–			–

Окончание табл. 2.1

Тип счетчика	Назначение	Номинальное напряжение, В	Номинальный (максимальный) ток, А	Класс точности	Наличие и тип телеметрического датчика	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
ПСЧ- 3АР.05.2	Измерение активной и реактивной энергии	3×220/380	5 (10)	1,0 (2,0)	По одному импульсному выходу на каждый вид энергии	325 × 170 × 70	1,5	–
ПСЧ- 3А.05.2	Измерение активной энергии			1,0	Два импульсных выхода			–
ПСЧ- 4АР.05.2	Измерение активной и реактивной энергии	3×57,7/100 3 × 220/380	5 (7,5)	0,5S (1,0)	По одному импульсному выходу на каждый вид энергии			–
ПСЧ- 4А.05.2	Измерение активной энергии			0,5S	–			–
ПСЧ- 4АП.05.2	Измерение активной энергии в 2 направлениях	3×57,7/100	1 (1,5) 5 (7,5)	0,5 или 1,0	Два импульсных выхода			–
ПСЧ- 4РП.05.2	Измерение реактивной энергии в 2 направлениях			1,0				–

3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ. МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЩИТА ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

3.1. Основные принципы обеспечения электробезопасности для жилых зданий

Широкое использование электроэнергии во всех областях деятельности человека и в первую очередь в быту, связанное с увеличением количества и разнообразия электроприборов в квартирах, коттеджах и на приусадебных участках, естественным образом влечет за собой повышение опасности поражения человека электрическим током.

Неисправности электроприборов, электрооборудования и электропроводок могут стать причиной возгораний и пожаров.

Основной предпосылкой повышенных требований по электробезопасности является то, что кроме нормальных рабочих токов в электроустановках могут возникать крайне нежелательные токи короткого замыкания, перегрузки и токи утечки при повреждении электроизоляции.

Зачастую квартиры повышенной комфортности создаются в существующих домах путем объединения 2-3 квартир. В таких домах изношенность существующих электропроводок высока. К тому же они не рассчитаны на режимы работы электрооборудования более комфортного жилища (наличие гармонических составляющих, несимметрия фаз и пр.). Это требует принятия дополнительных мер по электро- и пожаробезопасности.

В коттеджном строительстве существенную опасность представляют воздушные линии вводов на участки. Как правило, они выполнены неизолированными проводами, имеющими низкую механическую и химическую стойкость. По такой схеме обеспечивается электроснабжением более половины потребителей. К тому же вводы от воздушных линий (ВЛ) также достаточно изношены и имеют низкую надежность.

При питании однофазных потребителей от трехфазной питающей сети ответвлениями от ВЛ, когда PEN-проводник является общим для групп однофазных потребителей, питающихся от разных фаз, возможно появление опасного перенапряжения при несимметричной нагрузке и обрыве PEN-проводника. Следствием такого перенапряжения может быть повреждение электронного и бытового электрооборудования и возникновение пожара в результате возгорания включенных электрических приборов.

Как правило, большинство из построенных в последние годы коттеджей не имеют устройств молниезащиты. То же самое характерно и для садовых домиков и других частных сооружений.

В 2003 г. выпущена Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО-153-34.21.122-2003). Указанная инструкция распространяется на все виды зданий, сооружений и промышленных коммуникаций независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности. В инструкции рассмотрена защита как от прямых ударов молнии, так и от ее вторичных воздействий, включая применение защиты от импульсов перенапряжения и установку ограничителей перенапряжений.

При проектировании электрооборудования жилища обеспечению мер электробезопасности должно быть уделено особое внимание.

С позиций электробезопасности человек является проводником электрического тока. Электрическое сопротивление тела в основном обеспечивается верхним роговым слоем кожи, не имеющим кровеносных, лимфатических и других сосудов и нервных окончаний, и зависит от влажности кожи, места расположения и размера поверхности контакта тела с токоведущей частью электрооборудования, расстояния между контактами, пути протекания тока по телу, индивидуальных особенностей организма и других факторов.

Электрический ток, проходящий через тело человека, производит термическое, электротермическое и биологическое воздействие. Величина электрического тока, проходящего через тело человека, является основным фактором, определяющим вид поражения:

– 0,6–1,5 мА – человек начинает ощущать действие проходящего через него переменного тока;

– 10–15 мА – неотпускающий ток, человек не может самостоятельно оторвать руку от электропроводов;

– 25–50 мА – происходит мощное сокращение дыхательных мышц, через несколько минут наступает смерть от удушья;

– 50–200 мА – возникает беспорядочное сокращение и расслабление мышцы сердца (фибрилл) с частотой 400-600 раз в минуту – фибрилляция, кровообращение останавливается.

Другим важным фактором является время воздействия тока на человека.

В ГОСТ 12.1.038-82 (с изменениями от 01.07.88) «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» определены предельно допустимые значения переменного тока частотой 50 Гц через тело человека в бытовых электроустановках в зависимости от времени воздействия:

Время воздействия, с:	0,01–0,08	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7
0,8	0,9	1,0	>1,0				
Ток, мА:		220	200	100	70	55	50
35	30	27	2				

В четырехпроводной сети с заземленной нейтралью трансформатора (рис. 3.1) цепь тока, проходящего через тело человека, включает в себя сопротивления тела человека $R_{\text{чел}}$, его обуви $R_{\text{об}}$, пола $R_{\text{п}}$ и заземлителя R_3 .

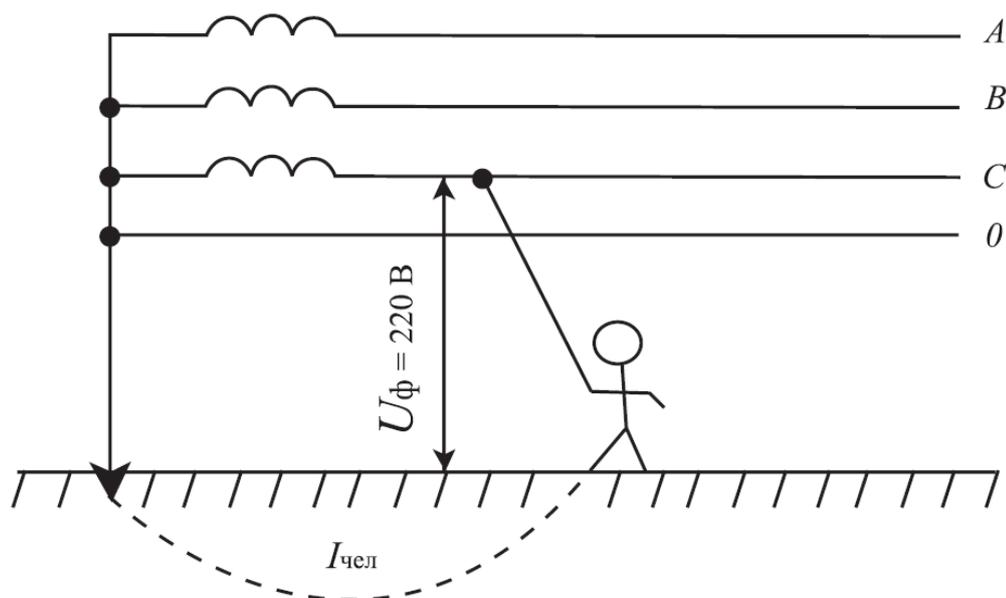


Рис. 3.1. Схема прикосновения человека к одной фазе в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью

Тогда ток, проходящий через тело человека, определяется из выражения

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_3}.$$

Электрическое сопротивление тела человека при сухой, чистой и неповрежденной коже, при напряжении 15–20 В находится в пределах от 3000 до 100 000 Ом. При расчетах обычно принимают сопротивление человека равным 1000 Ом. Сопротивление R_3 обычно меньше этих величин, и им можно пренебречь.

При наиболее неблагоприятных условиях, когда человек, прикоснувшийся к фазе, имеет на ногах токопроводящую обувь (сырую),

стоит на сырой земле или на токопроводящем полу, практически все напряжение будет приложено к человеку по пути «рука – ноги». Если принять (в неблагоприятных условиях) сопротивление тела человека $R_{\text{чел}} = 1000 \text{ Ом}$, то через него пройдет ток

$$I_{\text{чел}} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А.}$$

Такой ток смертельно опасен для человека. Если человек имеет на ногах обувь и стоит на изолирующем основании, то при значительном сопротивлении участка цепи «обувь – пол», порядка 10 000 Ом, ток, проходящий через человека, будет равен

$$I_{\text{чел}} = \frac{220}{1000 + 10\,000} = 0,02 \text{ А.}$$

Такой ток значительно менее опасен для человека.

Из приведенного примера видно, что для обеспечения безопасности людей, выполняющих какие-либо работы в электроустановках или находящихся в квартире, коттедже или на приусадебном участке, большое значение имеют изолирующие полы или изолирующие коврики и не проводящая ток обувь.

При проектировании электрооборудования для отдельных помещений современного жилища, особенно для тех, где используются сантехнические и теплотехнические устройства, необходимо учитывать классификацию помещений в соответствии с ПУЭ.

В ГОСТ Р 50571.3-94 «Электрооборудование зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током» приведены требования к основным мерам защиты человека от поражения электрическим током, которые должны соблюдаться в электроустановках зданий. Все многообразие опасных для здоровья и жизни человека контактов с электроустановкой здания подразделяется на прямое и косвенное прикосновения, которым соответствуют два вида защиты: защита от прямого прикосновения и защита от косвенного прикосновения. В разделе 411 стандарта изложены требования к такой мере защиты от прямого и косвенного прикосновений, которая основана на применении систем сверхнизкого напряжения БСНН, ЗСНН и ФСНН.

Под сверхнизким напряжением понимают такие напряжения в электрических цепях переменного и постоянного тока, которые при

определенных условиях не представляют опасности для человека. Человек и животные, прикоснувшиеся к токоведущей части или к открытой проводящей части, которая находится под сверхнизким напряжением, обычно не подвергаются опасности поражения электрическим током. В стандартах Международной электротехнической комиссии максимальное значение сверхнизкого напряжения переменного тока установлено равным 50 В, постоянного тока – 120 В (ГОСТ Р МЭК 449–96 «Электроустановки зданий»).

В зависимости от условий, в которых эксплуатируют электрооборудование, нормативными и правовыми документами может быть установлена величина сверхнизкого напряжения, значительно меньше указанных максимальных значений. Для частей электроустановки здания, размещенных в помещениях с повышенной опасностью поражения электрическим током, сверхнизким напряжением считают напряжение не более 25 В переменного тока и 60 В постоянного тока, а в особо опасных условиях – напряжение, которое не превышает 12 В переменного тока и 30 В постоянного тока.

Системы БСНН (системы безопасного сверхнизкого напряжения) применяются в тех случаях, когда эксплуатация электрического оборудования представляет серьезную опасность (плавательные бассейны, парки с аттракционами и т.д.). Данная мера основана на подаче питания сверхнизкого напряжения от вторичных обмоток изолирующих (разделительных) трансформаторов, специально разработанных в соответствии с национальными или международным (МЭК 60742) стандартами. Уровень импульсного напряжения, выдерживаемого изоляцией между первичной и вторичной обмотками, является очень высоким. Иногда между этими обмотками устанавливается заземленный металлический экран.

Напряжение на вторичной обмотке никогда не превышает эффективного значения 50 В. Для того чтобы обеспечить адекватную защиту от косвенного прикосновения, должны соблюдаться три условия эксплуатации:

- 1) токоведущие проводники в системе БСНН не должны соединяться с землей;
- 2) открытые проводящие части оборудования, питающегося от системы БСНН, не должны соединяться с землей, другими открытыми проводящими частями или внешними проводящими частями;
- 3) все токоведущие части цепей системы БСНН и других цепей более высокого напряжения должны быть разделены расстоянием, равным, по крайней мере, расстоянию между первичной и вторичной обмотками безопасного разделительного трансформатора.

Эти меры требуют того, чтобы в цепях системы БСНН использовались проводники, предусмотренные исключительно для них, если только в этих цепях не используются кабели, изолированные с учетом максимального напряжения других цепей. Штепсельные розетки для системы БСНН не имеют заземляющего контакта. Вилки и розетки для системы БСНН должны быть специальными, с тем чтобы исключить возможность непреднамеренного подключения к другому уровню напряжения. В нормальных условиях, когда БСНН менее 25 В, нет необходимости предусматривать защиту от прямого прикосновения.

Система ЗСНН (заземленная система безопасного сверхнизкого напряжения) предназначена для общего применения там, где низкое напряжение необходимо или предпочтительно по причинам безопасности, за исключением мест повышенного риска, указанных выше. По концепции она аналогична системе БСНН за исключением того, что вторичная цепь заземлена в одной точке. Стандартом МЭК 60364-4-41 точно определены особенности и преимущества применения системы ЗСНН. Защита от прямого прикосновения обычно не требуется, если электрооборудование находится в зоне действия системы уравнивания потенциалов и номинальное напряжение не превышает 25 В переменного тока при условии, что оборудование нормально эксплуатируется только в сухих помещениях и там, где возможна большая площадь контакта человеческого тела с частями, которые могут оказаться под напряжением. Во всех остальных случаях, когда не предусмотрена защита от прямого прикосновения, максимально допустимым напряжением является 6 В переменного тока.

Системы ФСНН (системы функционального сверхнизкого напряжения) применяются в тех случаях, когда по условиям эксплуатации (функционирования) электроустановки используется напряжение 50 В или менее, и при этом выполняются не все требования, касающиеся применения систем БСНН и ЗСНН. Для обеспечения защиты от прямого и косвенного прикосновений в этих случаях должны применяться соответствующие меры, описанные в стандарте МЭК 60364-4-41, с учетом местоположения и использования этих цепей. Такие условия могут, например, иметь место, когда цепь содержит оборудование, недостаточно изолированное относительно цепей с более высоким напряжением (трансформаторы, реле, дистанционные переключатели, контакторы и т.п.).

Для каждой из перечисленных систем в стандарте излагаются требования к источникам питания, выполнению защитного заземления, построению электрических цепей, а также к проводникам, вилкам и штепсельным розеткам, изоляции токоведущих частей и др.

Раздел 412 ГОСТ Р 50571.3 содержит требования к следующим мерам защиты от прямого прикосновения:

- к изоляции токоведущих частей;
- к применению ограждений и оболочек;
- к применению барьеров;
- к размещению все зоны досягаемости;
- к дополнительной защите с помощью устройств защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения требованиями стандарта (раздел 413) предусмотрены следующие меры:

- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией;
- изолирующие помещения, зоны и площадки;
- система местного уравнивания потенциалов;
- электрическое разделение цепей.

Указанный стандарт содержит основополагающие требования по защите от прямого и косвенного прикосновений, которые применяются, дополняются и конкретизируются другими стандартами комплекса ГОСТ Р 50571 для конкретных видов помещений, например для ванных и душевых.

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.

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

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках, в соответствии с нормами ПУЭ, может потребоваться выполнение защиты от косвенного прикосновения при напряжениях, например, 25 или 12 В переменного тока и 60 или 30 В постоянного тока.

Защита от прямого прикосновения (прямое прикосновение – электрический контакт людей и животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением) не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее

напряжение не превышает 25 В переменного тока и 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного тока или 15 В постоянного тока во всех остальных случаях.

Электрооборудование, применяемое для внутренней установки в зданиях, в соответствии с ГОСТ Р МЭК 536-94, по способам защиты от поражения электрическим током разделяют на четыре класса.

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

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

В оборудовании класса II может быть предусмотрено защитное сопротивление, если оно необходимо и его применение не приводит к снижению уровня безопасности. Оборудование может быть снабжено средствами для обеспечения постоянного контроля целостности защитных цепей при условии, что эти средства составляют неотъемлемую часть оборудования и изолированы от доступных прикосновений 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 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. 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. В оборудовании класса III не должно быть заземляющего зажима.

Оборудование класса III с металлической оболочкой допускается снабжать средствами для соединения оболочки с проводником уравнивания потенциала при условии, что это требование предусмотрено стандартом на соответствующее оборудование.

Степень защищенности оборудования от пыли, влаги и доступа нормируется ГОСТ Р 14254-96 (МЭК 529-89) на базе IP-кода (Index Protection).

Применение электрооборудования указанных выше классов необходимо учитывать при проектировании электрооборудования жилища.

Защита от электропоражения при прямом прикосновении, как уже отмечалось выше, достигается путем применения УЗО.

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

Защита от поражения при косвенном прикосновении (ГОСТ Р50571.3-93 п. 413) обеспечивается следующими мероприятиями:

- применением УЗО;
- применением нулевых защит проводников в электроустановках зданий с системой заземления TN или защитных проводников в электроустановках станций с системой заземления TT в комплекте с устройствами защиты от сверхтока – предохранителями, автоматическими выключателями.

Согласно ПУЭ, защита при помощи двойной или усиленной изоляции может быть обеспечена применением электрооборудования класса II или заключением электрооборудования, имеющего только основную изоляцию токоведущих частей, в изолирующую оболочку.

Проводящие части оборудования с двойной изоляцией не должны быть присоединены к защитному проводнику и к системе уравнивания потенциалов.

Защитное электрическое разделение цепей следует применять, как правило, для одной цепи. Наибольшее рабочее напряжение отделяемой цепи не должно превышать 500 В.

Питание отделяемой цепи должно быть выполнено от разделительного

трансформатора или от другого источника, обеспечивающего равноценную степень безопасности.

Токоведущие части цепи, питающиеся от отдельного трансформатора, не должны иметь соединений с заземленными частями и защитными проводниками других цепей.

Проводники цепей, питающиеся от разделительного трансформатора, рекомендуется прокладывать отдельно от других цепей. Если это невозможно, то для таких цепей необходимо использовать кабели без металлической оболочки, брони, экраны или изолированные провода, проложенные в изоляционных трубах, коробах и каналах при условии, что номинальное напряжение этих кабелей и проводов соответствует наибольшему напряжению совместно проложенных цепей, а каждая цепь защищена от сверхтоков.

От разделительного трансформатора питается только один электроприемник, и его открытые проводящие части не должны быть присоединены ни к защитному проводнику, ни к его открытым проводящим частям других цепей.

Все рассмотренные выше принципы обеспечения электробезопасности в полной мере относятся как непосредственно к жилищу, так и к приусадебным участкам.

3.2. Молниезащита. Защита от импульсных перенапряжений

Под понятием *прямой удар молнии*, или поражение молнией, подразумевается непосредственный контакт канала молнии со зданием или сооружением, сопровождающийся протеканием через него тока молнии. При прямом ударе проявляются тепловое, динамическое и электрическое действие тока молнии.

Как следствие, прямой удар молнии в здание и коммуникации приводит к серьезным механическим разрушениям, пожарам, поражениям людей и животных. Однако прямой удар молнии – явление относительно редкое. Более распространенными являются вторичное проявление молнии и внесение высокого потенциала.

Вторичное проявление молнии – это наведение потенциалов на металлических элементах конструкций, оборудования, в незамкнутых металлических контурах, вызванное близкими разрядами молнии и создающее опасность искрения внутри объекта.

Внесение высокого потенциала – это перенесение в здание или сооружение по протяженным металлическим коммуникациям (подземным

и наземным трубопроводам, кабелям и т.п.) электрических потенциалов, возникающих при прямых и близких ударах молнии и создающих опасность искрения внутри объекта.

Вторичное проявление молнии и внесение высокого потенциала вызывают импульсное перенапряжение в сетях и электропроводящих частях, что приводит к возгораниям, электротравмам, выходу из строя электропроводки, слаботочных сетей, дорогостоящих бытовых приборов и электрооборудования, сбоям в работе систем автоматики и управления, контроля и сигнализации, потере информации в компьютерных системах. Импульсные перенапряжения возникают также в электрических сетях при авариях и определенных режимах работы электрооборудования и потребителей электроэнергии.

В табл. 3.1 приведены данные о поражающих факторах и последствиях при указанных явлениях.

Таблица 3.1

Поражающие факторы и вероятные последствия их проявления

Событие	Поражающие факторы	Возможные последствия
Прямой удар молнии в здание	Разряд до 200 кА, 1000 кВ	Поражение людей, разрушение частей зданий, пожары
Ближкий и удаленный удар молнии в коммуникации	Внесенный грозовой потенциал по проводам электроснабжения и металлическим трубопроводам (возможный импульс перенапряжения – сотни киловольт)	Поражение людей, нарушение изоляции электропроводки, возгорание, выход из строя электрооборудования и приборов
Ближкий разряд (до 0,5 км от здания)	Наведенный грозовой потенциал в сетях (возможный импульс перенапряжения – десятки киловольт)	Выход из строя электронных приборов, потери баз данных, сбои в работе автоматизированных систем

Событие	Поражающие факторы	Возможные последствия
Коммутации и короткие замыкания в сетях	Импульс перенапряжения в сетях (до 10 кВ)	Выход из строя чувствительных приборов, потери баз данных, сбои в работе автоматизированных систем

Молниезащита зданий и сооружений – это система, состоящая из комплекса устройств и сооружений, предназначенных для защиты объектов от грозового электричества, позволяющая снизить последствия попадания молнии в защищаемый объект или вторичных ее проявлений.

Основным нормативным документом, регламентирующим устройство молниезащиты, является Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО-153-34.21.122—2003). Инструкцией предусматривается применение внешней и внутренней молниезащиты.

Внешняя молниезащита является классической, она представляет собой молниеотвод, состоящий из токоприемника, спуска и системы заземления.

Внутренняя молниезащита приобрела значение лишь в последние годы в связи с широким распространением микроэлектроники, в том числе и в быту. Под *внутренней молниезащитой* понимают ряд мероприятий, которые способствуют защите от перенапряжений в силовой сети. К ним относятся выравнивание потенциалов всех проводящих частей с потенциалом молниеотвода и применение ограничителей импульсов перенапряжения.

Устройства защиты от перенапряжений (УЗП), в соответствии с указанной инструкцией, устанавливаются в месте пересечения линий электроснабжения, управления, связи, телекоммуникации, границы двух зон экранирования. УЗП координируют для достижения приемлемого распределения нагрузки между ними в соответствии с их стойкостью к разрушению, а также для уменьшения вероятности разрушения защищаемого оборудования под воздействием тока молнии.

Для многоквартирных зданий, как правило, вопросы молниезащиты на этапе проектирования решаются для всего здания, а не для отдельной квартиры. Это относится к защите от прямого удара молнии. Защита же от вторичных проявлений молнии и от импульсов перенапряжений в сетях

для квартир, насыщенных электроникой и микропроцессорными устройствами, представляется актуальной задачей и, по мнению авторов, должна предусматриваться для каждой квартиры повышенной комфортности.

Для коттеджей и приусадебных участков система молниезащиты должна предусматриваться в полном объеме в обязательном порядке.

Молниеприемная часть с токоотводами и заземлением в комплексе представляет собой *молниеотвод*, т.е. устройство, воспринимающее ток молнии и отводящее его в землю, минуя защищаемый объект. Непосредственно воспринимающим разряд молнии устройством является молниеприемник. К конструктивному устройству молниеприемника предъявляются жесткие требования в отношении надежности работы.

Инструкция предписывает при проектировании молниеотводов принять меры для защиты установленного снаружи на здании оборудования, такого как антенны, камеры наружного наблюдения и т.п. По возможности молниеотвод устанавливается таким образом, чтобы это оборудование было защищено от прямого попадания молнии. В некоторых случаях необходимо устанавливать устройства защиты от перенапряжений.

Существует несколько видов молниеприемников.

Стержневые молниеприемники изготавливаются, как правило, из проката различного профиля. Наиболее распространенным профилем для изготовления молниеприемников являются прутки и водогазопроводные трубы.

Молниеприемник должен обладать достаточной прочностью при динамических воздействиях тока молнии. Его сечение принимается равным не менее 100 мм^2 при длине не более 2 м от точки закрепления на доме или конструкции молниеотвода. При использовании стальной трубы ее верхний конец заваривают, плотно закрывают металлической пробкой или расплющивают.

Тросовые молниеприемники – это стальной трос, подвешенный над защищаемым домом, закрепленный на несущих конструкциях (опорах, мачтах). В качестве троса используют обычный стальной оцинкованный канат сечением не менее 35 мм^2 . Тросовые молниеотводы применяются для защиты протяженных сооружений (воздушные линии, здания большой длины и т.п.). В некоторых случаях применение тросового молниеотвода может оказаться эффективным и для защиты коттеджа. Как правило, абсолютное большинство из построенных в последние годы коттеджей не имеет устройств молниезащиты. Одним из возможных способов их защиты могут быть тросовые молниеотводы, выполненные после ввода домов в эксплуатацию на отдельно стоящих от дома опорах.

Сетчатые молниеприемники – это устройства, укладываемые на кровле защищаемого дома или хозяйственной постройки. Они выполняются из круглой стали (катанки) диаметром 6–8 мм. Могут также применяться плоские стальные полосы сечением 4×20 мм. Поскольку молниеприемная сетка укладывается на кровлю дома, должен быть решен вопрос беспрепятственного стока дождевых вод, чистки снега и льда. С этой целью допускается укладка молниеприемной сетки под слоем негорючей тепло- и гидроизоляции или другой кровли. Размеры ячейки – не более 12×12 м. Токоотводы выполняются из круглой стали диаметром 10 мм через 25 м по периметру дома с присоединением к заземлителю, выполненному вокруг дома.

Соединение между собой отдельных ветвей сетки молниеприемника осуществляется с помощью сварки. Допускается болтовое соединение.

В качестве молниеприемника могут служить естественные металлические кровли зданий (кроме металлочерепицы), имеющие надежный электрический контакт по всей поверхности кровли.

В ряде стран в последние годы широко используются активные молниеприемники. Идея таких молниеприемников основана на создании канала ионизированного проводящего воздуха и осуществляется за счет электронных устройств, активизирующихся в предгрозовой период и обеспечивающих канал для разряда молнии на землю через этот молниеотвод. Значительное снижение высоты активного молниеприемника (практически до 2 м) с установкой его на коньке крыши практически не нарушает архитектурного облика здания и обеспечивает надежную защиту от прямых разрядов молнии.

Принцип работы активных молниеотводов основан на использовании упреждающей стримерной эмиссии. В таком молниеотводе имеется активная головка с электронным блоком, который в предгрозовой период за доли секунды до разряда молнии вырабатывает высокочастотные импульсы. В результате этого на головке молниеотвода возникает коронный разряд, образующий встречный ионизирующий канал для разряда молнии на молниеотвод. Этот ионизированный канал увеличивает эффективную высоту молниеотвода и многократно расширяет его защитную зону.

Токоотводы соединяют молниеприемники с заземлителями и представляют собой стальные провода, проложенные по стенам и крыше зданий. В качестве токоотводов применяется круглая полосовая сталь сечением не менее 25 мм^2 внутри здания и 50 мм^2 вне его, а также в земле.

Токоотводы прокладываются от молниеприемника к заземлителю по кратчайшим путям в местах, доступных для периодических осмотров.

На всем протяжении они не должны образовывать петель или острых углов.

Заземлителем могут служить для жилых зданий отдельные искусственные заземлители или очаг повторного заземления на вводе здания, а для коттеджных участков – очаг повторного заземления на вводе участка.

При применении отдельных искусственных заземлителей рекомендуется следующее.

1. В грунтах, имеющих небольшую величину расчетного удельного сопротивления ($\rho < 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), наиболее целесообразны сосредоточенные вертикальные заземлители длиной 2,5–3 м, эффективно отводящие токи молнии.

При высокой проводимости нижних слоев грунта рекомендуется применение удлиненных электродов ($l = 4\text{--}6 \text{ м}$). При высокой проводимости верхнего слоя грунта следует применять протяженные заземлители длиной не более 10 м, так как дальнейшее увеличение длины лучей при указанных характеристиках грунта практически не приводит к снижению импульсных сопротивлений растекания тока.

2. В грунтах с расчетным удельным сопротивлением $\rho \geq 400\text{--}700 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ оптимальным является комбинированный тип заземляющего устройства, например двух-, трехлучевой тип с вертикальными электродами длиной 2,5–3 м. Наряду с лучевым расположением электродов большое распространение имеют комбинированные заземлители, выполненные в виде контура (квадрат, прямоугольник, кольцо), охватывающие защищаемый объект. При выполнении комбинированных заземлителей необходимо учитывать отрицательный эффект взаимного экранирования электродов. Поэтому не рекомендуются многолучевые заземлители с близким расположением вертикальных электродов друг от друга (менее двойной длины электродов).

3. В грунтах с высоким удельным сопротивлением ($\rho > 800 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) предпочтительнее применять лучевые заземлители с длиной элементов 20–40 м. В отдельных случаях могут быть использованы протяженные заземлители кольцевой формы.

Элементы заземляющих устройств выполняются в основном из круглой, полосовой и уголковой стали. Наиболее распространенным сортаментом стали для изготовления электродов являются: полосовая сталь шириной 40 мм и толщиной 4 мм, угловая сталь с шириной полки 40 мм, круглая сталь 12–16 мм, трубы с наружным диаметром 40–60 мм.

Наиболее радикальным средством защиты заземлителей от коррозии является оцинковка или омеднение электродов. Необходимо помнить, что окраска и покрытие элементов заземлителя лаками или битумом резко

снижают эффект растекания тока и поэтому категорически запрещаются. Минимальные размеры (сечение) элементов заземлителей приводятся ниже:

- полосовая и угловая сталь – сечение 48 мм^2 , толщина 4 мм;
- трубы – толщина стенки 3,5 мм;
- круглая сталь – диаметр 10 мм.

Соединение электродов в единую заземляющую систему должно осуществляться, как правило, сваркой. Длина сварного шва должна составлять не менее двойной ширины свариваемых полос и не менее шестикратного диаметра электродов из круглой стали. В ряде случаев, чтобы иметь возможность производить замеры, соединение заземлителя с токоотводом может производиться с помощью зажимов или болтов. Число болтов должно быть не менее двух.

Внутренняя молниезащита строится на системе уравнивания потенциалов, которая рассмотрена ранее, и на применении ограничителей импульсных перенапряжений.

В соответствии с ПУЭ, при воздушных вводах следует предусматривать ограничители импульсных перенапряжений.

Устройство защиты от вторичных проявлений молнии и внесения высокого потенциала регламентировано ГОСТ Р 50571.19-2000 «Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений», ГОСТ Р 50571.20-2000 «Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями», ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

В соответствии с ГОСТ 13109-97, значение грозовых импульсных напряжений с вероятностью 90 % не превышает 10 кВ в воздушной сети напряжения 0,38 кВ и 6 кВ – во внутренней проводке зданий и сооружений.

Значение коммутационных импульсных напряжений на уровне 0,5 амплитуды импульса при их длительности, равной 1000–5000 мс, в сети с номинальным напряжением 0,38 кВ составляет 4,5 кВ.

Пики напряжения в электрических сетях наиболее опасны для дорогостоящей производственной и бытовой микроэлектронной аппаратуры. Это вызвано тем, что энергия сетевых пиков может достигать единиц килоджоулей, а энергия разрушения современных интегральных микросхем составляет от единиц до сотен микроджоулей. Поэтому необходимо применение устройств для ослабления сетевой помехи.

Под внутренней грозозащитой понимают ряд мероприятий, которые способствуют защите от перенапряжений в силовой сети (коммутационные, грозовые перенапряжения). Важнейшим мероприятием является выравнивание потенциалов всех проводящих частей (трубы отопления,

системы газоснабжения, водопроводные) с потенциалом молниеотвода, заземлителя и заземленным нейтральным проводом сети. Далее между активными фазными проводами и уравнивательной шиной включаются вентильные разрядники. Вентильные разрядники срабатывают как при перенапряжениях, поступающих из сети, так и при повышении потенциала точки заземления во время прямого удара молнии. В последнем случае эта точка оказывается по отношению, например, к земле питающего распределительного трансформатора под потенциалом, превышающим испытательное напряжение трансформатора. Однако напряжение между этой точкой и фазами сети никогда не становится больше, чем напряжение срабатывания вентильных разрядников.

Грозозащитные разрядники и разрядники для защиты от перенапряжений, участвующие во внутренней грозозащите, различаются техническими характеристиками. Когда несколько устройств защиты от перенапряжений (УЗП) установлены в одну линию, следует обеспечить, чтобы первым активизировалось защитное устройство с самым низким уровнем напряжения срабатывания, для того чтобы защищаемое оборудование не было перегружено. В то же время устройства защиты от перенапряжений должны быть подобраны с учетом их энергетических возможностей. Когда устройство защиты от перенапряжений подвергается перегрузкам, импульсный ток должен автоматически управляться предыдущим УЗП с более высокой энергетической способностью, установленным «выше» по линии. Этот режим можно сравнить с защитой резервирования, обеспеченной устройствами максимальной токовой защиты.

Для этой цели необходимо наличие в цепи определенных разделительных сопротивлений между устройствами защиты от перенапряжений разных классов. В качестве таких сопротивлений могут быть использованы существующие кабели при условии достаточной величины их сопротивления.

Компанией Schneider Electric производятся ограничители перенапряжений серий STH, STM, STD. Каждый ограничитель перенапряжения этой серии имеет свое применение.

Ограничитель STH рекомендуется использовать для открытых мест, в которых могут происходить прямые разряды молнии и электромагнитное поле ничем не ослаблено.

Ограничитель STM используется для объектов, которые защищены мерами экранирования части здания, например с помощью металлической арматуры. По линии питания такая защита может обеспечиваться силовыми кабелями определенной длины.

Ограничитель STD устанавливается в следующей зоне, в которой еще более уменьшен уровень риска. Этот ограничитель может устанавливаться последовательно с головным ограничителем перенапряжений.

Для защиты ограничителей перенапряжения от коротких замыканий используются автоматические выключатели. Номинальный ток этого выключателя выбирается по расчетному току короткого замыкания на ограничителе STN в случае его повреждения и с учетом обеспечения селективности.

Рекомендуется организация двухуровневой схемы: с одним ограничителем (STN, STM) в голове и другим (STD), подключенным в щитке как можно ближе к месту установки защищаемых устройств.

Эффективность двухуровневой схемы проявляется при достаточном индуктивном сопротивлении между ограничителями. Так, двухуровневая схема рекомендуется, если длина кабеля между головным ограничителем и ограничителем, установленным в щитке, превышает 30 м.

Ограничитель STN в качестве головного выбирается при воздушных вводах 0,38 кВ, в которых могут происходить прямые разряды молнии.

Если имеются элементы экранирования помещения или электроснабжение осуществляется с помощью кабельного ввода, то применяется ограничитель STM.

Защитный автомат для ограничителей перенапряжения должен выбираться из соображений защиты ограничителя от короткого замыкания.

Для защиты от перенапряжения слаботочных сетей, например телефонных, в номенклатуре Schneider Electric имеются параллельные и последовательные ограничители типа PRC.

3.3. Защита от временных перенапряжений

В трехфазных сетях напряжением 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью, типичных для квартир повышенной комфортности и коттеджей, высока вероятность возникновения временных перенапряжений.

Согласно ГОСТ 13109-97, временное перенапряжение – это повышение напряжения в точке электрической сети выше $1,1U_{ном}$ продолжительностью более 10 мс. Отмечается, что при обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях до 1 кВ, работающих с глухозаземленной нейтралью, возникают временные перенапряжения между фазой и землей. Уровень таких перенапряжений при значительной несимметрии фазных нагрузок может достигать значений междуфазного напряжения, а длительность – нескольких часов. В ГОСТ 13109-97 в данном случае несимметрия нагрузок определяется как «значительная», без указания конкретного значения.

Рассмотрим несколько режимов работы с определенной величиной несимметрии, которые можно использовать как ориентировочные при выполнении отдельных проектов.

При обрыве нулевого проводника в общем случае имеем:

$$I_A = Y_A(E_A - U_N); \quad I_B = Y_B(E_B - U_N); \quad I_C = Y_C(E_C - U_N);$$

$$U_N = \frac{Y_A E_A + Y_B E_B + Y_C E_C}{Y_A + Y_B + Y_C};$$

$$U_A = E_A - U_N; \quad U_B = E_B - U_N; \quad U_C = E_C - U_N.$$

Здесь Y_A, Y_B, Y_C – проводимости сопротивлений Z_A, Z_B, Z_C ;

$$E_A = U_\phi \sqrt{2} \sin \omega t; \quad E_B = U_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$E_C = U_\phi \sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ);$$

$U_A = E_A - U_N$; $U_B = E_B - U_N$; $U_C = E_C - U_N$ – напряжения на сопротивлениях Z_A, Z_B и Z_C соответственно.

В рассматриваемом случае Z_A, Z_B и Z_C являются сопротивлениями нагрузки трех отдельных потребителей (например, коттеджей), получающих питание по ВЛ от трех разных фаз и имеющих общий проводник PEN.

Возможен также вариант, когда Z_A, Z_B и Z_C – сопротивления нагрузок одного коттеджа, имеющего трехфазный ввод, но отдельные постройки на участке питаются от разных фаз.

Режим I. Сопротивления $Z_A = 10$ Ом, $Z_B = 20$ Ом, $Z_C = 40$ Ом.

Действующие значения напряжений на сопротивлениях Z_A, Z_B, Z_C соответственно:

$$U_A = 144,6 \text{ В } (0,657U_N);$$

$$U_B = 248,8 \text{ В } (1,13U_N); \quad U_C = 287,5 \text{ В } (1,31U_N).$$

Напряжение в нулевой точке $U_N = 82,7$ В.

Режим II. Сопротивления $Z_A = 10$ Ом, $Z_B = 100$ Ом, $Z_C = 200$ Ом.

Действующее напряжение на сопротивлениях Z_A, Z_B, Z_C соответственно:

$$U_A = 287,5 \text{ В } (1,31U_H);$$

$$U_B = 339,8 \text{ В } (1,54U_H); \quad U_C = 348,8 \text{ В } (1,58U_H).$$

Напряжение в нулевой точке $U_H = 177,5 \text{ В}$.

Из приведенных расчетов следует, что при обрыве нулевого проводника в трехфазных электрических сетях с глухозаземленной нейтралью при реальной несимметрии нагрузок фазные напряжения могут достигнуть опасных значений.

В [3] в п. 7.1.21 содержится рекомендация: при питании однофазных потребителей от многофазной питающей сети ответвлениями от воздушных линий, когда проводник воздушной линии является общим для групп однофазных потребителей, питающихся от разных фаз, рекомендуется предусматривать защитное отключение потребителей при превышении напряжения выше допустимого, возникающего из-за несимметрии нагрузки при обрыве PEN-проводника. Отключение должно производиться на вводе в здание, например, воздействием на независимый расцепитель вводного автоматического выключателя посредством реле максимального напряжения. В этом случае должны отключаться как фазный (L), так и нулевой рабочий (N) проводники.

При этом уставка срабатывания реле рекомендуется $1,2U_H$, а время срабатывания защиты – не более 0,15 с.

Контрольные вопросы

1. Расскажите, в чем заключаются основные принципы обеспечения электробезопасности в жилых зданиях.
2. Объясните, как организовать защиту от временных перенапряжений.
3. Объясните, как организовать молниезащиту.
4. Расскажите, как организовать защиту от импульсных перенапряжений.

4. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ. УРАВНИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ

По определению [3], заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством, а защитное заземление – заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

В ГОСТ Р 50571.2-94 и в разделе 1.7 [3] приведена классификация систем заземления, которые определяют общую характеристику питающей сети и электроустановки здания. В соответствии с указанной классификацией, существуют следующие системы заземления: TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT (рис. 4.1 – 4.4).

Первая буква в обозначении системы заземления определяет характер заземления источника питания:

- T – непосредственное соединение нейтрали источника питания с землей;
- I – все токоведущие части изолированы от земли.

Вторая буква определяет характер заземления открытых проводящих частей электроустановки здания:

- T – непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки здания с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;
- N – непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки здания с точкой заземления источника питания.

Буквы, следующие через черточку за N, определяют характер этой связи – функциональный способ устройства нулевого защитного и нулевого рабочего проводников:

- S – функции нулевого защитного PE- и нулевого рабочего N-проводников обеспечиваются отдельными проводниками;
- C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются одним общим проводником PEN.

В системе TN-C (рис. 4.1) источник питания имеет непосредственную связь токоведущих частей (обычно – нейтрали трансформатора) с землей (глухозаземленная нейтраль). Все открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с заземляющим устройством источника питания. Для обеспечения этой связи применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник PEN.

В системе TN-S (рис. 4.2) источник питания имеет непосредственную связь токоведущих частей с землей. Все открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с заземляющим устройством источника питания. Для обеспечения этой связи применяется отдельный нулевой защитный проводник PE.

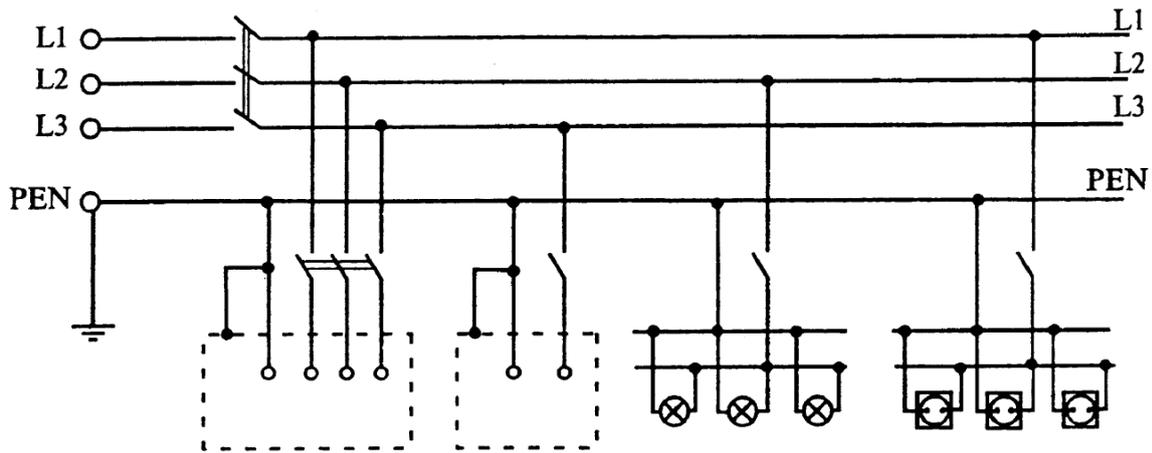


Рис. 4.1. Система TN-C

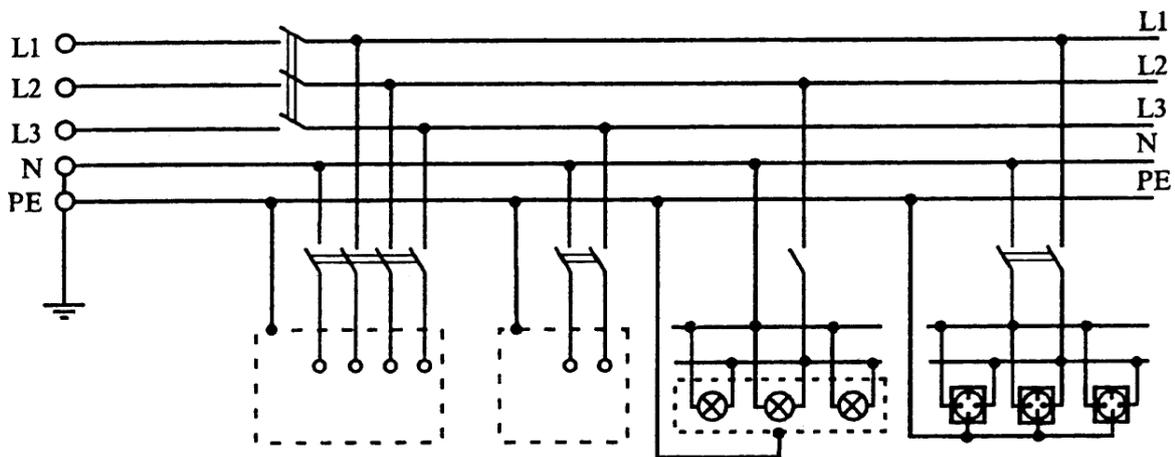


Рис. 4.2. Система TN-S

В системе TN-C-S (рис. 4.3) источник питания имеет непосредственную связь токоведущих частей с землей. Все открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с точкой заземления источника питания. Для обеспечения этой связи на участке питающей электрической сети и (или) электрической цепи применяется совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник PEN, в остальной части электрической цепи – отдельный нулевой защитный проводник PE.

В системе TT (рис. 4.4) источник питания имеет непосредственную связь токоведущих частей с землей. Все открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с землей через заземлитель, электрически независимый от заземлителя нейтрали источника питания.

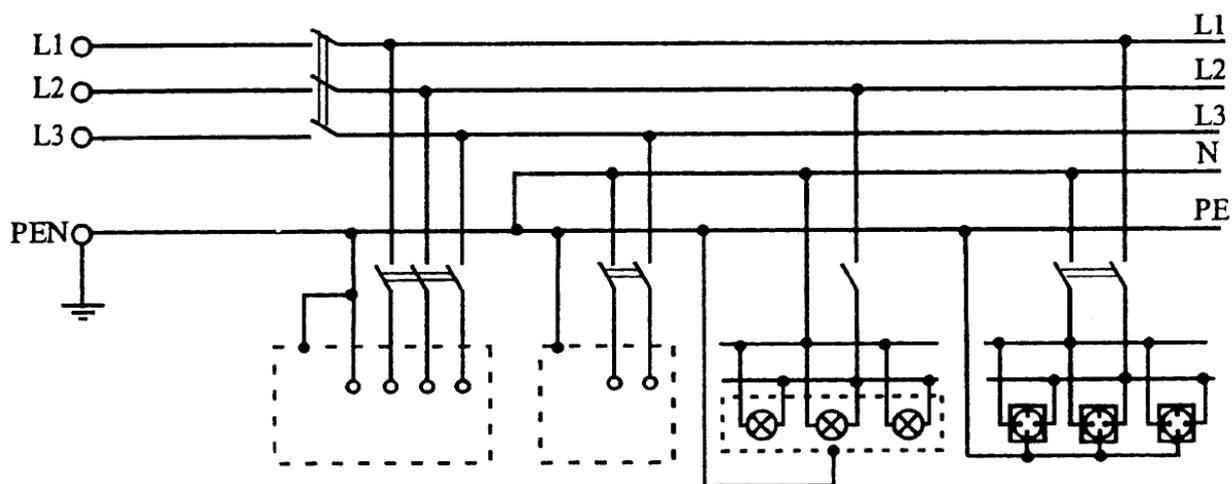


Рис. 4.3. Система TN-C-S

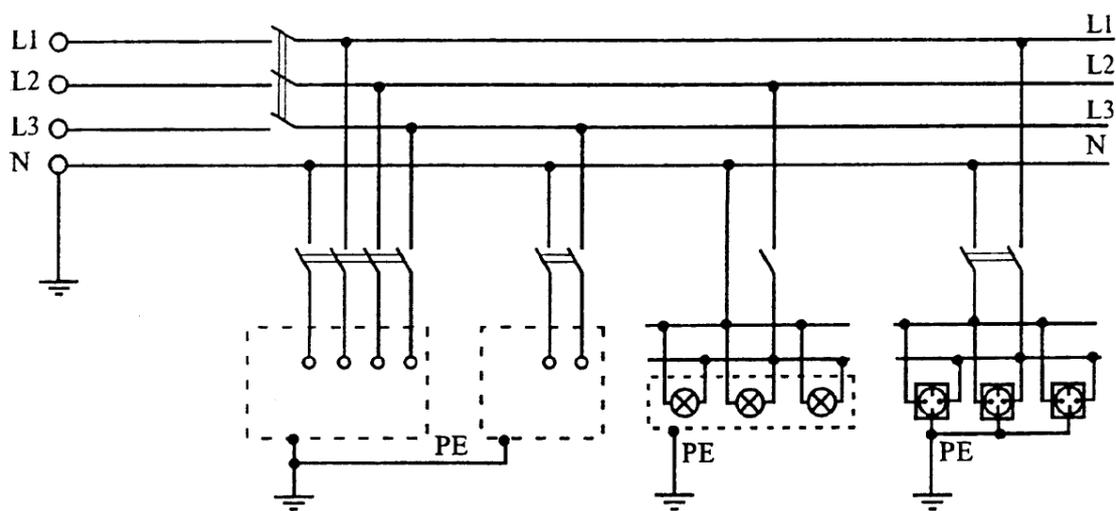


Рис. 4.4. Система TT

Система IT применяется, как правило, в электроустановках зданий и сооружений специального назначения и поэтому далее не рассматривается.

До настоящего времени большая часть электроустановок в нашей стране работает с системой заземления, подобной TN-C. Рассмотрим более подробно функционирование УЗО в таких электроустановках. 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 – 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) – $I_{\Delta n}$, УЗО среагирует и отключит электроустановку от сети, в результате чего жизнь человека будет спасена. 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 этого следует, что и в электроустановках с системой заземления, подобной TN-C, применение УЗО также оправдано, поскольку это устройство и в таких электроустановках обеспечивает эффективную защиту от электропоражения.

Электроустановки с системами заземления TN-S, TN-C-S, TT в данном аспекте обладают значительным преимуществом: в аналогичной ситуации (при пробое изоляции на корпус) УЗО мгновенно отключит электропитание, поскольку все корпуса имеют надежное соединение с защитным проводником.

В России до настоящего времени применяется система TN-C (рис. 4.1), в которой открытые проводящие части электроустановки (корпуса, кожухи электрооборудования) соединены с заземленной нейтралью источника совмещенным нулевым защитным и рабочим проводником PEN, т.е. «занулены». Эта система относительно простая и дешевая, однако она не обеспечивает необходимый уровень электробезопасности.

Системы TN-S (рис. 4.2) и TN-C-S (рис. 4.3) 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 нулевого защитного проводника PE провод с желто-зеленой маркировкой изоляции.

В системе TN-C-S во вводном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник PEN разделен на нулевой защитный PE- и нулевой рабочий N-проводники. В этой системе 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.

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 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников, но не менее 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию.

Совмещенный нулевой и рабочий проводник PEN разделяется на нулевой защитный PE- и нулевой рабочий N-проводники во вводном устройстве (рис. 4.5).

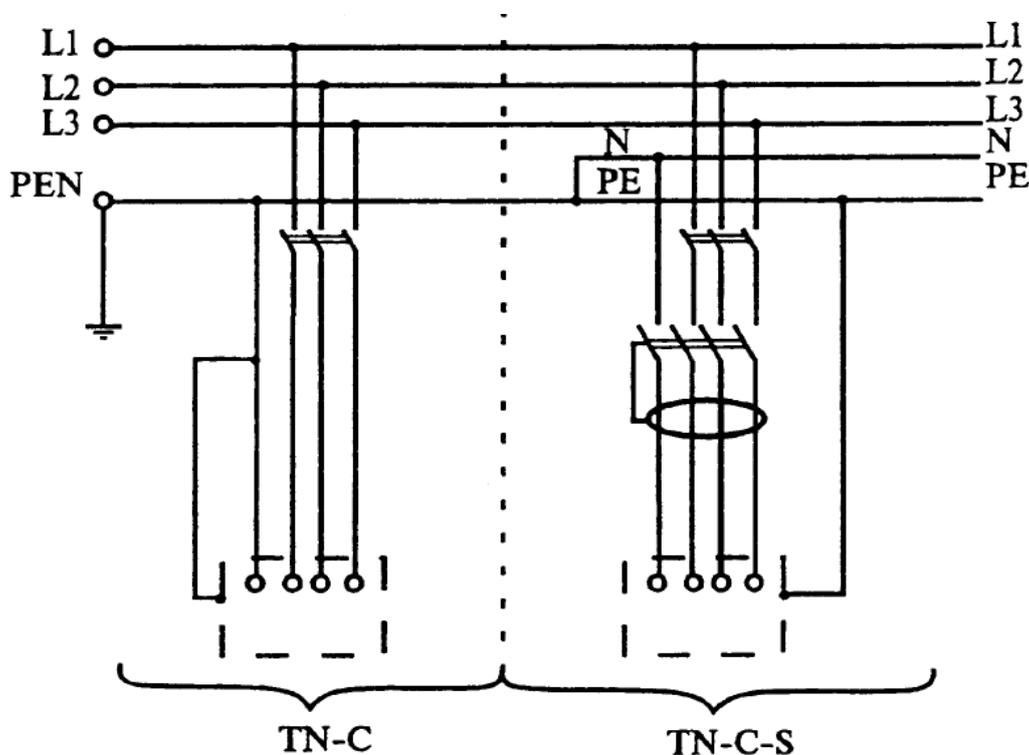


Рис. 4.5. Выполнение системы заземления TN-C-S

В ПУЭ (7-е изд. п. 7.1.36) указывается: «Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать под общий контактный зажим». Это вызвано необходимостью обеспечения условий электробезопасности для сохранения соединения защитного проводника с заземлением в случае разрушения (выгорания) контактного зажима.

На рис. 4.6 показаны примеры выполнения этого подключения в этажном или квартирном щитках.

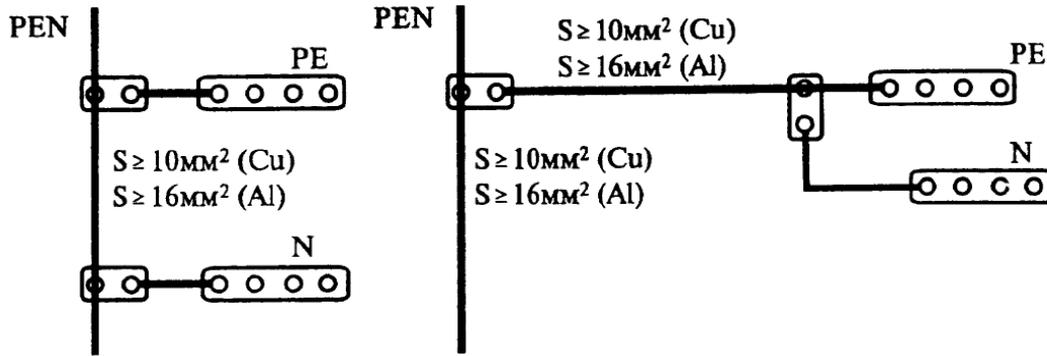


Рис. 4.6. Примеры выполнения подключения проводников PE и N к PEN

Важным условием обеспечения электробезопасности является наличие системы *уравнивания потенциалов*, заключающейся в подсоединении всех подлежащих заземлению проводящих частей к общей шине (рис. 4.7) для достижения равенства их потенциалов.

Здесь следует обратить внимание на различие понятий «уравнивание потенциалов» и «выравнивание потенциалов». Выравнивание потенциалов – это снижение разности потенциалов (шагов напряжения) на поверхности земли или пола с помощью защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли, например в бетонном полу саун для выравнивания потенциала следует прокладывать металлическую сетку, соединяемую с нулевым защитным проводником.

В соответствии с ПУЭ, *основная система уравнивания потенциалов* в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный PE- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.

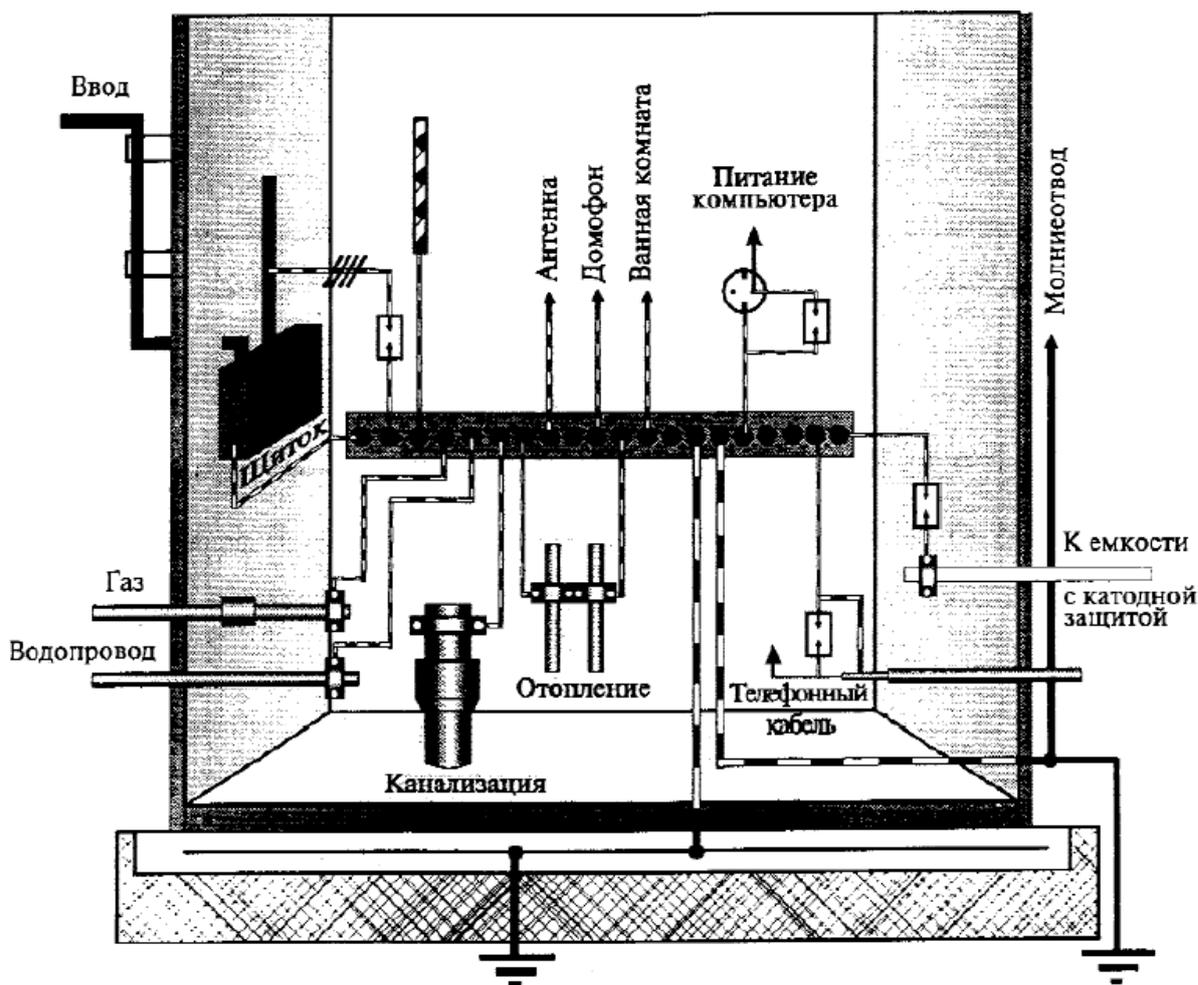


Рис. 4.7. Пример выполнения системы уравнивания потенциалов

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:

- металлические части каркаса здания;
- 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;
- заземляющее устройство системы молниезащиты;
- заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;
- 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 с помощью проводников системы уравнивания потенциалов.

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 проводящие части и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

Указанные выше системы уравнивания потенциалов позволяют избежать протекания различных непредсказуемых циркулирующих токов в системе заземления, вызывающих возникновение разности потенциалов на отдельных элементах электроустановки.

На рис. 4.8 приведен пример системы уравнивания потенциалов в электроустановке жилого дома.

В последнее время, с повышением оснащенности современных жилых домов различными электроприборами и усложнением 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 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. Системы заземления и уравнивания потенциалов реализуются с помощью заземляющих устройств, представляющих собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – это проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

На концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. В первую очередь для этой цели следует использовать естественные заземлители, например подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений.

Указанные повторные заземления выполняются, если более частые заземления по условиям защиты от грозовых перенапряжений не требуются.

Заземляющие проводники для повторных заземлений PEN-проводника должны иметь размеры, не менее приведенных в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников,
проложенных в земле**

Материал	Профиль сечения	Диаметр каждой проволоки, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина стенки, мм
Сталь	Круглый для заземлителей: вертикальных; горизонтальных	16	–	–
		10	–	–
	Прямоугольный	–	100	4
	Угловой	–	–	–
Сталь оцинкованная	Круглый для заземлителей: вертикальных; горизонтальных	12	–	–
		10	–	–
	Прямоугольный	–	75	3
	Трубный	25	–	2
Медь	Круглый	12	–	–
	Прямоугольный	–	50	2
	Трубный	20	–	
	Канат многопроволочный	1,8	35	–

Общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 10 и 20 Ом соответственно при

линейных напряжениях 380 и 220 В источника трехфазного тока или 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

При удельном сопротивлении земли $\rho > 100$ Ом·м, когда устройство искусственных заземлителей сопряжено со значительными трудностями, ПУЭ допускает увеличение указанных выше норм сопротивления, но не более десятикратного.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;
- металлические трубы водопровода, проложенные в земле;
- обсадные трубы буровых скважин;
- металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, закладные части затворов и т.п.;
- другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения;
- металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле; оболочки кабелей могут служить единственными заземлителями при числе кабелей не менее двух; алюминиевые оболочки кабелей использовать в качестве заземлителей не допускается.

Не допускается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей и трубопроводы канализации и центрального отопления.

Указанные ограничения не исключают необходимости присоединения таких трубопроводов к заземляющему устройству в целях уравнивания потенциалов.

Искусственные заземлители могут быть из обычной или оцинкованной стали или медными и не должны быть окрашенными.

Материал и наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле, должны соответствовать приведенным в табл. 4.1.

Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается.

Для измерения сопротивления заземляющего устройства в удобном месте должна быть предусмотрена возможность отсоединения заземляющего проводника. В электроустановках напряжением до 1 кВ таким местом, как

правило, является главная заземляющая шина. Отсоединение заземляющего проводника должно быть возможно только при помощи инструмента.

Заземляющий проводник, присоединяющий заземлитель рабочего (функционального) заземления к главной заземляющей шине в электроустановках напряжением до 1 кВ, должен иметь сечение, не менее: медный – 10 мм^2 , алюминиевый – 16 мм^2 , стальной – 75 мм^2 .

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него. Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину РЕ.

При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства.

Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения РЕ- (PEN)-проводника питающей линии. Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

В местах, доступных только квалифицированному персоналу (например, щитовых помещениях жилых домов), главную заземляющую шину следует устанавливать открыто. В местах, доступных посторонним лицам (например, подъездах или подвалах домов), она должна иметь защитную оболочку – шкаф или ящик с запирающейся на ключ дверцей.

Если здание имеет несколько обособленных вводов, главная заземляющая шина должна быть выполнена для каждого вводного устройства. При наличии встроенных трансформаторных подстанций главная заземляющая шина должна устанавливаться возле каждой из них. Эти шины должны соединяться проводником уравнивания потенциалов, сечение которого должно быть не менее половины сечения РЕ- (PEN)-проводника той линии среди отходящих от щитов низкого напряжения подстанций, которая имеет наибольшее сечение. Для соединения нескольких главных заземляющих шин могут использоваться сторонние проводящие части, если они соответствуют требованиям к непрерывности и проводимости электрической цепи.

В качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ могут использоваться следующие.

1. Специально предусмотренные проводники:

- жилы многожильных кабелей;
- изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;

– стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники.

2. Открытые проводящие части электроустановок:

– алюминиевые оболочки кабелей;
– стальные трубы электропроводок;
– металлические оболочки и опорные конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления.

Металлические корпуса и лотки электропроводок можно использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией корпусов и лотков предусмотрено такое использование, о чем имеется указание в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения.

3. Некоторые сторонние проводящие части:

– металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т.п.);
– арматура железобетонных строительных конструкций зданий.

Использование открытых и сторонних проводящих частей в качестве РЕ-проводников допускается, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям:

1) непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений;

2) их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

Не допускается использовать в качестве РЕ-проводников:

– металлические оболочки изоляционных трубок и трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, а также свинцовые оболочки проводов и кабелей;

– трубопроводы газоснабжения и другие трубопроводы горючих и взрывоопасных веществ и смесей, трубы канализации и центрального отопления;

– водопроводные трубы при наличии в них изолирующих вставок.

Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников приведены ниже:

Сечение фазных проводников	Наименьшее сечение защитных проводников, мм ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным.

Допускается, при необходимости, принимать сечение защитного проводника менее требуемого, если оно рассчитано по формуле (только для времени отключения ≤ 5 с):

$$S \geq \frac{I\sqrt{t}}{k},$$

где S – площадь поперечного сечения защитного проводника, мм; I – ток короткого замыкания (А), обеспечивающий время отключения поврежденной цепи защитным аппаратом не более чем за 5 с; T – время срабатывания защитного аппарата, с; k – коэффициент, значение которого зависит от материала защитного проводника, его изоляции, начальной и конечной температур.

Значения k для защитных проводников в различных условиях приведены в табл. 4.2 – 4.5.

Таблица 4.2

Коэффициент k для изолированных защитных проводников, не входящих в кабель, и для неизолированных проводников, касающихся оболочкой кабелей (начальная температура проводника 30 °С)

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид (ПВХ)		Бутиловая резина
Конечная температура, °С	160	250	220
Коэффициент k проводника:			
медного;	143	176	166
алюминиевого;	95	116	110
стального	52	64	60

Если при расчете получается сечение, отличное от приведенного выше, то следует выбирать ближайшее большее значение, а при получении нестандартного сечения – применять проводники ближайшего большего стандартного сечения.

Таблица 4.3

Коэффициент k защитного проводника в многожильном кабеле

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид (ПВХ)		Бутиловая резина
Начальная температура, °С	70	90	85
Конечная температура, °С	160	250	220
Коэффициент k проводника:			
	медного;	115	143
алюминиевого	76	94	89

Таблица 4.4

Коэффициент k при использовании в качестве защитного проводника алюминиевой оболочки кабеля

Параметр	Материал изоляции		
	Поливинилхлорид (ПВХ)		Бутиловая резина
Начальная температура, °С	60	80	75
Конечная температура, °С	160	250	220
Коэффициент k проводника	81	98	93

Максимальная температура при определении сечения защитного проводника не должна превышать предельно допустимых температур нагрева проводников при КЗ.

Во всех случаях сечение медных защитных проводников, не входящих в состав кабеля или проложенных не в общей оболочке (трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее:

- 2,5 мм² – при наличии механической защиты;
- 4 мм² – при отсутствии механической защиты.

Сечение отдельно проложенных защитных алюминиевых проводников должно быть не менее 16 мм².

Таблица 4.5

Коэффициент k для неизолированных проводников, когда указанные температуры не создают опасности повреждения находящихся вблизи материалов (начальная температура проводника принята равной 30 °С)

Материал проводника	Условия	Проводники		
		проложенные открыто и в специально отведенных местах	эксплуатируемые	
			в нормальной среде	в пожароопасной среде
Медь	Максимальная температура, °С	500*	200	150
	Коэффициент k	228	159	138
Алюминий	Максимальная температура, °С	300*	200	150
	Коэффициент k	125	105	91
Сталь	Максимальная температура, °С	500*	200	150
	Коэффициент k	82	58	50

* Указанные температуры допускаются, если они не ухудшают качество соединений.

Для квартир любого уровня комфортности в многоквартирных домах заземляющее устройство выполняется общим для всего дома.

Защитное заземление электроустановки коттеджа рекомендуется осуществлять с помощью искусственно заземлителя, состоящего из одного или нескольких электродов диаметром не менее 12 мм или уголков с толщиной полки не менее 4 мм, обеспечивающих требуемое сопротивление заземления в зависимости от удельного сопротивления грунта.

При использовании двух и более электродов для их соединения применяется круглая сталь диаметром 10 мм, выведенная на стену дома на высоте не менее 200 мм над поверхностью земли. Заземляющие проводники, прокладываемые от заземлителя до главной заземляющей шины, в зависимости от материала должны быть:

- стальными – диаметром не менее 10 мм, сечением не менее 100 мм²;
- медными – диаметром не менее 12 мм, сечением не менее 50 мм².

Для примера рассмотрим повторное заземляющее устройство для жилого здания, электроснабжение которого осуществляется на напряжении 380/220 В от подстанции, расположенной на расстоянии 80 м.

На вводе в здание, рядом с ВРУ размещаются два ящика главной заземляющей шины. К этой шине подключаются:

- защитный проводник РЕ питающего ВРУ – 380/220 В;
- заземляющий проводник, присоединенный к повторному заземлителю;
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание (трубы горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления и т.п.);
- металлические части здания (каркас);
- металлические части вентиляции и кондиционирования и т.д.;
- заземляющее устройство молниезащиты;
- контуры внутреннего заземления электроустановок.

Главная заземляющая шина, расположенная в отдельном ящике, выполняется из медной полосы с отверстиями для болтового соединения отходящих проводников системы уравнивания потенциалов.

В помещениях пожарных насосов, кондиционеров, бойлеров, лифтов и т.п. предусматриваются отдельные внутренние контуры заземления, выполненные из полосовой оцинкованной стали 40×4 мм.

К этому контуру подключаются все металлические элементы: электродвигатели, щиты, трансформаторы, корпуса оборудования, двери, кабельные конструкции, трубопроводы, вентиляция и т.д. Все контуры внутреннего заземления подлежат присоединению к главной заземляющей шине путем прокладки медных кабелей ВВГ 1×16 мм².

Контрольные вопросы

1. Объясните, в чем заключается принцип работы системы TN-C.
2. Объясните, в чем заключается принцип работы системы TN-S.
3. Объясните, в чем заключается принцип работы системы TN-C-S.
4. Объясните, в чем заключается принцип работы системы TT.
5. Расскажите, какие могут использоваться РЕ-проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ.

5. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Устройство защитного отключения реагирует на дифференциальный ток или ток небаланса и наряду с устройствами защиты от сверхтока относится к дополнительным видам защиты человека от поражения электрическим током при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

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

При малых токах замыкания или снижении уровня изоляции, а также при обрыве нулевого защитного проводника зануление недостаточно эффективно, и в этих случаях УЗО является единственным средством защиты человека от поражения электрическим током.

В основе действия защитного отключения лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением. Устройство защитного отключения является единственным средством, обеспечивающим автоматическую защиту человека от поражения током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Важнейшей функцией, осуществляемой с помощью УЗО, является защита от возгораний и пожаров, возникающих на объектах вследствие возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования.

Более трети всех пожаров происходит вследствие 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 вследствие дефектов или повреждения изоляции. Устройство защитного отключения, реагируя на ток утечки на землю, заблаговременно, до развития короткого замыкания отключает электроустановку от источника питания, предотвращая тем самым недопустимый нагрев проводников, искрение, возникновение дуги и возможное последующее возгорание.

По данным различных источников, локальное возгорание изоляции может быть вызвано довольно незначительной мощностью, выделяемой в месте утечки. В зависимости от материала и срока службы изоляции такая

мощность составляет всего 40–60 Вт. Это означает, что своевременное срабатывание УЗО противопожарного назначения с установкой 300 мА предупредит выделение указанной мощности и, следовательно, не допустит возгорания.

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на ток небаланса в проводниках, проводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке. Основные функциональные блоки УЗО применительно к системе TN-C-S представлены на рис. 5.1.

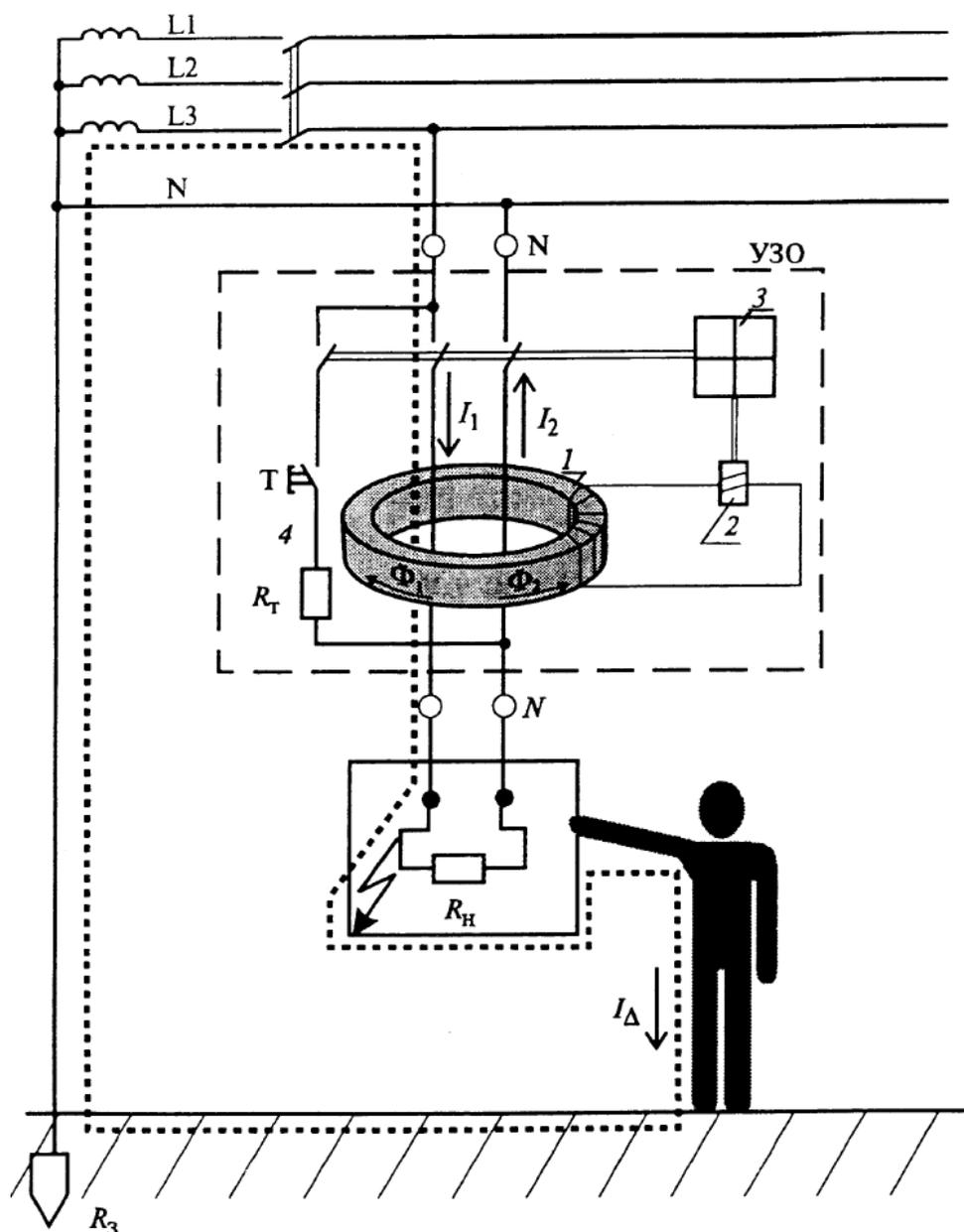


Рис. 5.1. Структура УЗО

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1. Этот трансформатор иногда называют трансформатором тока нулевой последовательности (ТТНП), несмотря на то, что 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. В нормальном режиме, при отсутствии тока небаланса – тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода 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, I_1 , а от нагрузки – I_2 , то можно записать равенство: $I_1 = I_2$.

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но встречно направленные магнитные потоки. Результирующий магнитный поток равен нулю, и ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

При нарушении изоляции или при прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел сбой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток утечки, являющийся для трансформатора током небаланса (разностным).

Неравенство токов в первичных обмотках вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного тока небаланса. 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 исправно.

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

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

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

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

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

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

УЗО подразделяются также на устройства без встроенной защиты от сверхтоков и со встроенной защитой от сверхтоков (дифференциальные автоматы).

В соответствии с ГОСТ Р 50807-95, ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99, УЗО характеризуются нижеследующими нормируемыми параметрами.

Номинальное напряжение U_H – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО:

$$U_H = 220, 380 \text{ В.}$$

Номинальный ток I_H – ток, который УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы:

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

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta H}$ – дифференциальный ток, который вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации:

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

Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta\text{но}}$ – дифференциальный ток, который *не* вызывает отключения УЗО при заданных условиях эксплуатации:

$$I_{\Delta\text{но}} = 0,5I_{\Delta\text{н}}.$$

Предельный неотключающий сверхток – минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух- и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО.

Сверхток – любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки.

Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_0 – действующее значение ожидаемого тока, которое УЗО способно включить, пропускать в течение всего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности. Минимальное значение $I_{\text{min}} = 10I_{\text{н}}$ или 500 А (выбирается большее значение).

Номинальный условный ток короткого замыкания $I_{\text{н.к.з}}$ – действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, оборудованное устройством защиты от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность:

$$I_{\text{н.к.з}} = 3000; 4500; 6000; 10\ 000\ \text{А}.$$

Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{\Delta\text{к.з}}$ – ожидаемый дифференциальный ток, который способно выдержать УЗО, обеспечивающее защиту от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность:

$$I_{\Delta\text{к.з}} = 3000; 4500; 6000; 10\ 000\ \text{А}.$$

Номинальное время отключения $T_{\text{н}}$ – время 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 ниже:

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

Стандартные значения допустимого времени отключения и неотключения для УЗО типа S при любом номинальном токе нагрузки свыше 25 А и значениях номинального дифференциального тока свыше 0,03 А не должны превышать приведенных в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Допустимое время отключения и неотключения УЗО типа S, с

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

Суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить 1/3 номинального тока УЗО. Согласно ПУЭ, при отсутствии данных ток утечки электроприемников 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.

Для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части, когда величина тока не достаточна для срабатывания максимальной токовой защиты, на вводе в квартиру, индивидуальный дом и т.п. рекомендуется установка УЗО с током срабатывания до 300 мА.

Принципиальное значение при рассмотрении конструкции УЗО имеет разделение устройств по способу технической реализации на следующие два типа:

– УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания (электромеханические); источником энергии, необходимой для функционирования (выполнения защитных функций, включая операцию отключения), является сам сигнал – ток небаланса, на который устройство реагирует;

– УЗО, функционально зависящие от напряжения питания (электронные); их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Применение устройств, функционально зависящих от напряжения питания, более ограничено вследствие их меньшей надежности, подверженности воздействию внешних факторов и др. Однако основной причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной по условиям вероятности электропоражения неисправности электроустановки, а именно при обрыве нулевого 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 попадает опасный для жизни человека потенциал.

Существуют электронные УЗО, которые при исчезновении питания остаются включенными (с защелкой), и УЗО с самоблокировкой (как магнитные пускатели). Такие УЗО в случае обрыва нулевого проводника размыкают силовые контакты, и электроустановка обесточивается. Однако с УЗО такого типа проблематично выполнить требование ПУЭ п. 7.1.77: в жилых зданиях не допускается применять УЗО, автоматически отключающие потребителя от сети при исчезновении или недопустимом падении напряжения сети. При этом УЗО должно сохранять работоспособность на время не менее 5 с при снижении напряжения до 50 % номинального.

В соответствии с ГОСТ Р 50571.3-94 (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, в схемах TN-C-S на отходящих линиях следует устанавливать двух- и четырехполюсные автоматические выключатели. Только в этом случае можно методом поочередного включения линий найти неисправную цепь, в том числе и цепь с утечкой с нулевого проводника без демонтажа вводно-распределительного устройства, а также отключить неисправную цепь для обеспечения работы остальной части электроустановки.

Защита нулевого рабочего проводника в системах TT и TN регламентируется ГОСТ Р 50571.9-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков».

Порядок выполнения защиты нулевого рабочего проводника от тока короткого замыкания следующий:

а) в случаях, когда сечение нулевого рабочего проводника, по крайней мере, равно или эквивалентно сечению фазных проводников, не требуется предусматривать устройства обнаружения тока короткого замыкания в этом проводнике или устройства его отключения;

б) в случаях, когда сечение нулевого рабочего проводника меньше сечения фазных проводников, должно быть предусмотрено обнаружение тока короткого замыкания в нулевом рабочем проводнике, превышающего допустимый для его сечения, с воздействием на отключение фазных проводников.

При этом отключение нулевого рабочего проводника является обязательным. Не требуется обнаружение тока короткого замыкания в нулевом рабочем проводнике, если одновременно выполняются следующие условия:

- нулевой рабочий проводник защищен от короткого замыкания 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.

Второе условие выполняется, если передаваемая мощность как можно более равномерно распределяется между рабочими фазами, например, если сумма мощностей электроприемников, подключенных 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.

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.

Применение УЗО обязательно:

- для групповых линий, питающих электроприемники наружной установки (ГОСТ Р 50571.8-94);

- для мобильных сооружений (инвентарных зданий из металла или с металлическим каркасом) – ГОСТ Р 50699-94;
- для защиты штепсельных розеток ванн и душевых помещений (ГОСТ Р 50571.1-96).

Кроме того, применение УЗО обязательно, если устройство защиты от сверхтоков (автоматический выключатель, предохранитель) не обеспечивает время автоматического отключения 0,4 с при номинальном напряжении 220 В из-за низких значений токов короткого замыкания и установка (квартира) не охвачена системой уравнивания потенциалов.

Установка УЗО рекомендуется в различных случаях, связанных с вероятностью возникновения повышенной опасности, например при применении нагревательных элементов, встроенных в пол.

Для объектов действующего жилого фонда с двухпроводными сетями, где электроприемники не имеют защитного заземления, УЗО является эффективным средством для повышения электробезопасности. Срабатывание УЗО при замыканиях на корпус в таких сетях происходит только при появлении дифференциального тока, т.е. при непосредственном прикосновении к корпусу (соединении с «землей»). Установка УЗО может быть рекомендована как мера повышения безопасности до проведения полной реконструкции здания. Решение об установке УЗО должно приниматься в каждом конкретном случае после получения объективных данных о состоянии электропроводки 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 электроинструмента рекомендуется использовать УЗО-розетки и УЗО-вилки, входящие в комплект электроприборов или шнура-удлинителя.

Не допускается применение УЗО на линиях, 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. В таких установках для защиты людей от поражения электрическим током должны применяться другие электротехнические меры: контроль изоляции, разделительные трансформаторы и др.

В помещениях с повышенной опасностью УЗО должно быть размещено в щитках со степенью защиты не ниже IP44, при наружной установке не ниже IP54.

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, в индивидуальных домах – во ВРУ и этажных распределительных щитках.

В схемах электроснабжения радиального типа со значительным числом 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.

При анализе работы УЗО в комплексе с системами заземления рекомендуется обратить внимание на следующее. Наиболее перспективной для нашей страны является система заземления TN-C-S, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции. Однако в электроустановках с системами заземления TN-S и TN-C-S электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а 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, зависит от сопротивления проводников), переходного сопротивления в месте

повреждения изоляции, длины линий, точности калибровки автоматических выключателей и др.

Наличие на объекте металлических корпусов, арматуры и других частей, соединенных с РЕ-проводником, повышает опасность электропоражения, поскольку в этом случае вероятность образования цепи «токоведущий проводник – тело человека – земля» гораздо выше. Только УЗО осуществляет защиту от прямого прикосновения.

Фирма Schneider Electric поставляет на российский рынок только электромеханические УЗО. Французским эквивалентом термина «устройство защитного отключения» является понятие «дифференциальный выключатель» (*disjoncteur diffentiel*) – сокращенно DD.

Широкий набор основных модулей и вспомогательных устройств позволяет комплектовать схемы дифференциальной защиты исходя из конкретных условий каждого объекта.

На рис. 5.2 – 5.6 приведены принципиальные схемы дифференциальных модулей.

Дифференциальный автоматический выключатель DPNN Vigi мгновенного действия (рис. 5.2) позволяет реализовать комплексную защиту цепей от коротких замыканий, перегрузок и повреждений изоляции. Обеспечивает защиту людей (30 мА), защищает электроустановку от возникновения пожара (300 мА). Номинальный ток – 6–40 А, номинальное напряжение – 230 В. Имеет фильтр помех сети.

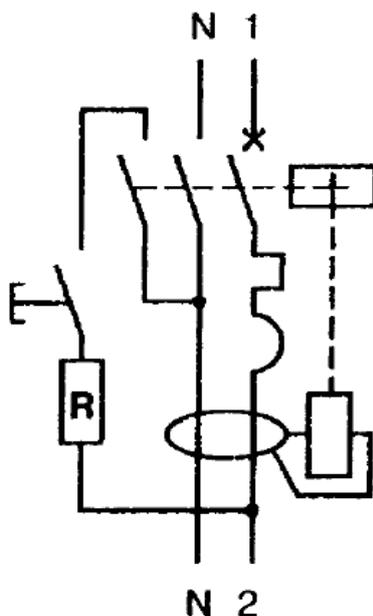


Рис. 5.2. Принципиальная схема дифференциального автоматического выключателя DPNN Vigi

Дифференциальные выключатели нагрузки ID мгновенного действия (рис. 5.3). Номинальный отключающий дифференциальный ток – 10, 30, 300, 500 мА. Номинальный ток – 25–100 А. Число полюсов – 2 и 4.

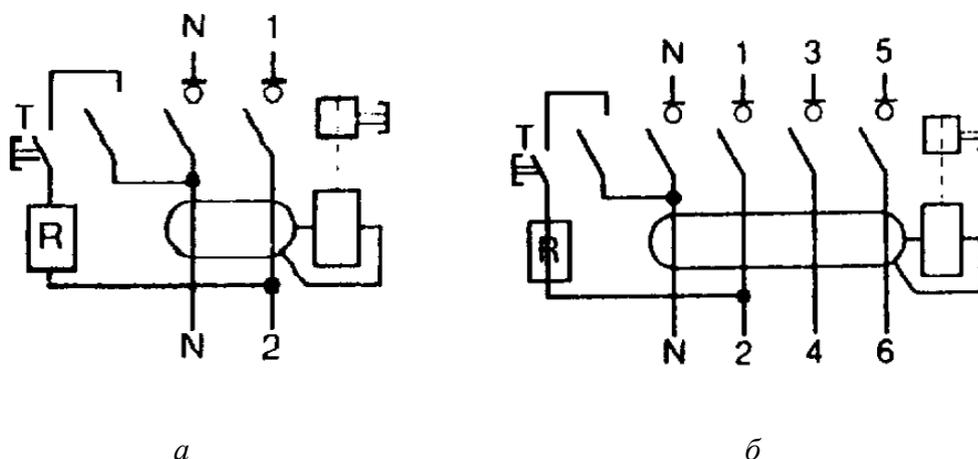


Рис. 5.3. Принципиальная схема дифференциального выключателя нагрузки ID:
а – двухполюсного; б – четырехполюсного

Селективный выключатель нагрузки ID позволяет выполнять селективную цепь с отходящими линиями на токи 10 или 30 мА. Комплектуется вспомогательными устройствами: независимым расцепителем MX, расцепителем минимального напряжения MN, сигнальным блок-контактом OF. Имеет фильтр помех сети.

Дифференциальные модули *Vigi C60* (рис. 5.4) дополняют двух-, трех- и четырехполюсные автоматические выключатели C60. Номинальный отключающий дифференциальный ток – 30, 300 мА. Номинальный ток – 25, 63 А. Номинальное напряжение – до 415 В переменного тока. Имеет фильтр помех сети. Работает без дополнительного источника питания.

Дифференциальные модули высокой чувствительности *Vigi NG125* (рис. 5.5) дополняют автоматические выключатели NG125. Номинальный отключающий дифференциальный ток – 30 мА. Номинальный ток – 63; 125 А. Число полюсов – 2, 3, 4. Модули типа AC реагируют на дифференциальный синусоидальный ток (рис. 5.5, а – в), типа А (рис. 5.5, г – е) реагируют на синусоидальный переменный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи. Стойкость к импульсному напряжению – 8/20 мкс, 3 кА. Вспомогательные устройства: MXV – независимый расцепитель; SDV – контакт сигнализации повреждения.

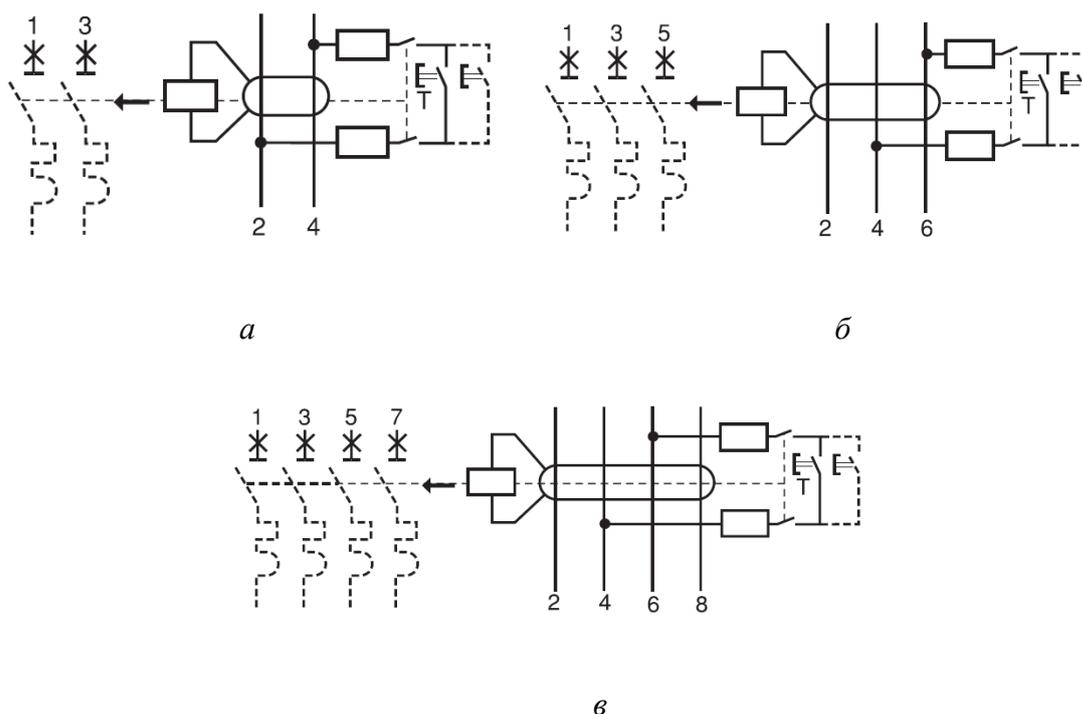


Рис. 5.4. Принципиальная схема дифференциального модуля Vigi C60:

а – 2 полюса; *б* – 3 полюса; *в* – 4 полюса

Дифференциальные модули средней чувствительности Vigi NG125 (рис. 5.6) дополняют автоматические выключатели NGI25. Номинальный отключающий дифференциальный ток – 300 мА. Номинальный ток – 63; 125 А. Число полюсов – 2, 3, 4. Модули типа АС реагируют на дифференциальный синусоидальный ток (рис. 5.6, *а* – *в*), типа А (рис. 5.6, *г* – *е*) реагируют на синусоидальный переменный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи. Стойкость к импульсному напряжению – 8/20 мкс, 3 кА. Вспомогательные устройства: MXV – независимый расцепитель; SDV – контакт сигнализации повреждения.

Особые характеристики регулируемых Vigi: регулируемая величина номинального отключающего дифференциального тока – 300, 500, 1000, 3000 мА; время регулируемого отключения – мгновенно, 60 мс, 150 мс; предварительная сигнализация о появлении тока утечки.

Все модули и вспомогательные устройства присоединяются через гребенчатую шинку, рассчитанную на конструктивный шаг 9 мм и присоединение проводников сечением до 16 мм².

В главе 1 были приведены конкретные схемы установки УЗО в индивидуальных жилых зданиях на токи 30 и 100 мА.

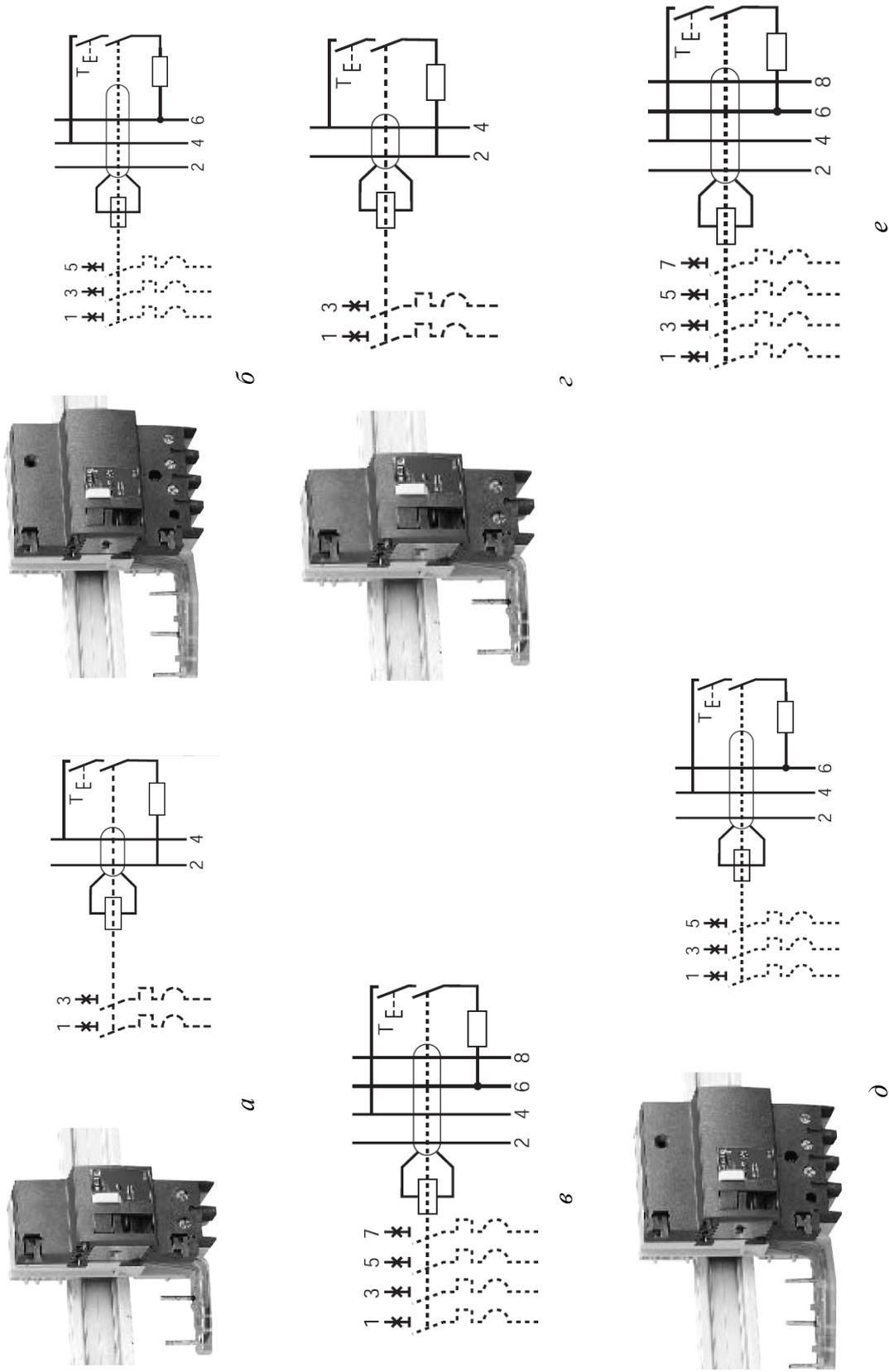


Рис. 5.5. Принципиальные схемы дифференциальных модулей высокой чувствительности Vigi NG125:

а – двухполюсный класса AC; *б* – трехполюсный класса AC; *в* – четырехполюсный класса AC; *г* – двухполюсный класса A; *д* – трехполюсный класса A; *е* – четырехполюсный класса A

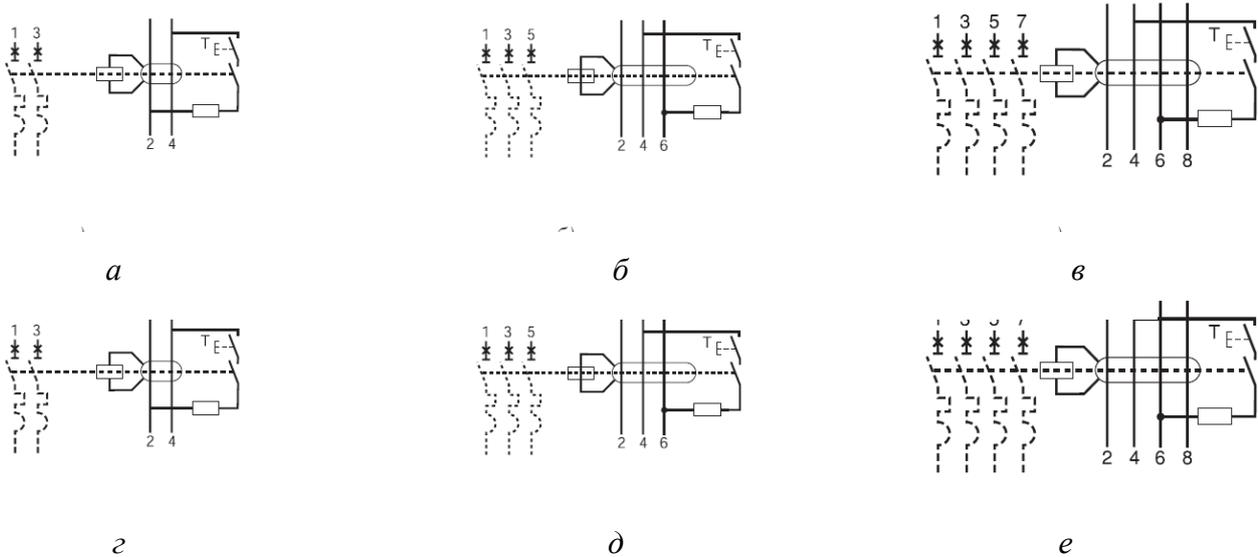


Рис. 5.6. Принципиальные схемы дифференциальных модулей средней чувствительности Vig1 NG125: *a* – двухполюсный класса AC; *б* – трехполюсный класса AC; *в* – четырехполюсный класса AC; *г* – двухполюсный класса A; *д* – трехполюсный класса A; *е* – четырехполюсный класса A

Контрольные вопросы

1. Объясните, в чем заключается принцип действия УЗО.
2. Перечислите типы УЗО.
3. Назовите аспекты, являющиеся наиболее существенными при проектировании электроустановок с применением УЗО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование электрических сетей жилых зданий опирается на типовые решения, которые частично приведены в учебном пособии, но и имеют достаточный простор для творческого подхода. Часто приходится принимать решения по подключению нагрузок различных организаций, располагающихся в большинстве случаев на первом этаже жилого здания. В этих случаях обязательна установка отдельных приборов учета электроэнергии, а также может быть востребовано АВР.

Для коттеджной застройки необходимо рассматривать систему электроснабжения отдельного здания в связке с остальными. Это обусловлено возможностью применения для распределительной сети между коттеджами нового номинального напряжения 0,95 кВ или же существующего номинального напряжения 10 кВ. Трансформаторы для понижения напряжения до 0,4 кВ в этих случаях имеют столбовое (мачтовое) исполнение и могут питать несколько коттеджей одновременно. Их мощность и размещение требует технико-экономического обоснования.

Выбор систем учета электроэнергии также взаимосвязан с общей технической политикой рассматриваемого региона в этой области. Она сказывается в том, что могут применяться обычные электросчетчики, где абонент сам передает сведения в соответствующую организацию по электропотреблению. Могут быть применены и более дорогие системы автоматического учета электроэнергии с различными каналами связи. Возложение на потребителя дополнительных расходов на их установку и эксплуатацию оправдано только при технико-экономическом обосновании.

Устройства защитного отключения в современных жилых домах обязательны к установке. В обычных многоквартирных домах они выбираются, как правило, на один ток уставки отключения. Для коттеджей, где присутствуют потребители, расположенные на открытом воздухе, применяют индивидуальные УЗО на меньший ток отключения. Для исполнения функций противопожарной защиты ставятся УЗО на больший ток отключения. Современные автоматические выключатели могут иметь встроенные УЗО.

Приведенные в настоящем пособии материалы способствуют освоению особенностей проектирования жилых зданий и облегчают понимание материалов тех нормативных документов, которые приведены в Приложении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 320 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Альвис, 2013. – 816 с.
4. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ / Е.Ф. Макаров; под ред. И.Т. Горюнова и др. – М.: Папирус ПРО, 2003. – 608 с.
5. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учеб. пособие / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др.; под ред. И.П. Крючкова и В.А. Старшинова. – М.: Академия, 2005. – 416 с.
6. Балаков Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: Учеб. пособие / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. – 2-е изд., стереотип. – М.: МЭИ, 2009. – 288 с.
7. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения: Справочное пособие / В.Д. Маньков. – СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ Электро Сервис», 2010. – 664 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

**Перечень действующей нормативно-технической документации
по проектированию, подготовке и производству строительных, электромонтажных и
пусконаладочных работ
(по состоянию на 1 января 2015 г.)³**

№ п/п	Идентификационный номер	Обозначение документа (номер)	Наименование документа
1	19эм/66-11	СП 44.13330.2011	СНиП 2.09.04-87. Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция
2	19эм/70-11	СП 54.13330.2011	СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция
3	19эм/71-11	СП 55.13330.2011	СНиП 31-02-2001. Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция
4	19эм/60-11	СП 42.13330.2011	СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция
5	19эм/72-11	СП 62.13330.2011	СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция
6	19эм/78-11	СП 20.13330.2011	СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция
7	17эм/2-06	СО 153-34.47.44-2003	Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7 изд. Глава 1.8
8	17эм/3-06	СО 153-34.47.44-2003	ПУЭ, 7 изд. Главы 1.1; 1.2; 1.7; 1.9
9	17эм/3-06	–	ПУЭ, 7 изд. Главы 7.5; 7.6; 7.7, 7.10
10	17эм/4-06	СО 153-34.47.44-2003	ПУЭ, 7 изд. Главы 2.4; 2.5

³ Знак > в графе «Идентификационный номер» означает вновь введенный документ.

Окончание таблицы

№ п/п	Идентификационный номер	Обозначение документа (номер)	Наименование документа
11	17эм/5-06	–	ПУЭ, 7 изд. Главы 7.1; 7.2; Раздел 6
12	17эм/6-06	СО 153-34.47.44- 2003	ПУЭ, 7 изд. Главы 4.1; 4.2
13	17эм/1-06	–	ПУЭ, 6 изд. Частично заменены СО 153-34.47.44-2003 (Главы 1.1; 1.2; 1.7; 1.8; 1.9; 2.4; 2.5; 4.1; 4.2)
14	–	2003	ПУЭ, 7 изд. (включает главы СО 153-34.47.44- 2003, а также главы 6.1–6.6, 7.1, 7.2, 7.5, 7.6, 7.7, 7.10 и дополнение «Электроустановки зданий. Технические циркуляры. 2004–2007 гг.»)
15	12эм/1-06	СО 153-34.21.122- 2003	Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
16	19эм/36-06	СП 31-110-2003	Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий
17	12эм/31-06	НПБ 105-03	Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
18	–	НПБ 243-97	Устройства защитного отключения. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний
19	➤	ГОСТ 32395-2013	Щитки распределительные для жилых зданий. Общие технические условия
20	➤	ГОСТ 32396-2013	Устройства вводно- распределительные для жилых и общественных зданий

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные требования и определения при проектировании электрических сетей жилых зданий	7
1.1. Требования к электроустановкам современных квартир и коттеджей	7
1.2. Категории квартир и коттеджей и их характеристики	12
1.3. Бытовые потребители электроэнергии, режимы работы, влияние на питающую сеть	17
1.4. Резервирование питания электроприемников в сети 0,4 кВ ...	21
1.5. Примеры выполнения электрических сетей жилых зданий ...	25
2. Учет электроэнергии в сетях 0,4 кВ	32
2.1. Основные принципы учета электроэнергии	32
2.2. Организация учета электроэнергии при проектировании многоквартирных жилых домов	33
2.3. Организация учета электроэнергии при проектировании индивидуальных жилых домов	35
2.4. Основные требования к установке приборов учета	36
2.5. Счетчики электрической энергии	38
3. Основные принципы обеспечения электробезопасности. Молниезащита и защита от импульсных перенапряжений	51
3.1. Основные принципы обеспечения электробезопасности для жилых зданий	51
3.2. Молниезащита. Защита от импульсных перенапряжений	60
3.3. Защита от временных перенапряжений	68
4. Защитное заземление. Уравнивание потенциалов	71
5. Устройство защитного отключения	88
Заключение	103
Библиографический список	104
Приложение	105

Учебное издание

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Учебное пособие
по дисциплине

«Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей»

**Федотов Александр Иванович,
Наумов Олег Витальевич,
Ахметшин Азат Ренатович,
Чернова Наталья Владимировна**

Кафедра электроэнергетических систем и сетей КГЭУ

Редактор издательского отдела *Н.А. Мустакимова*
Компьютерная верстка *М.М. Надыршина*

Подписано в печать 29.12.16

Формат 60×84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ. Бумага ВХИ.
Усл. печ. л 6,27. Уч.-изд. л.6,97. Тираж 500 экз. Заказ № 96/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51