

ЭЛЕКТРОЦЕХ

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ПАНОР.РФ Издательский Дом



ПАНОРАМА

PANOR.RU НАУКА И ПРАКТИКА



9
2024

Организация
автоматизированного
электрообеспечения удаленных
базовых станций

Как оптимизировать
уровень потребления электричества
на предприятии

Униполярные электрические машины

ISSN 2074-9651

**Журнал «Электроцех»
№ 9 (244), 2024**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия
Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-17681 от 09.03.2004

УЧРЕДИТЕЛЬ

Негосударственное научно-образовательное
учреждение «Академия технических наук»
(119049, г. Москва, ул. Донская, д. 4, стр. 1)

ИЗДАТЕЛЬ

© Издательский Дом «Панорама»
127015, г. Москва, Бумажный проезд,
д. 14, стр. 2, подъезд 3, а/я 27
www.panor.ru

Президент ИД «Панорама» —

Председатель Некоммерческого фонда содействия
развитию национальной культуры и искусства
К. А. Москаленко

Генеральный директор ИД «Панорама»

Г. К. Москаленко

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОМИЗДАТ»

127015, г. Москва, Бумажный проезд, д. 14, стр. 2,
подъезд 3, а/я 27
Тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).
www.promizdat.com,
e-mail: promizdat@panor.ru

ВЕРСТАЛЬЩИК / КОРРЕКТОР

Зенченко А. В.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Киреева Э. А.,

Елисеев И. М.,

руководитель проекта по реализации ЭСК
ПАО «Россети Северо-Запада», ООО «Параметр»

Смирнов В. В.,

канд. техн. наук

Шульга Р. Н.,

канд. техн. наук, ведущий научный
сотрудник ВЭИ, филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»
им. академ. Е. И. Забабахина, г. Москва

Журнал распространяется через подписку.

Оформить подписку с любого месяца можно:

- ☒ На нашем сайте panor.ru;
- ☒ Через нашу редакцию
по тел. 8 (495) 274-2222 (многоканальный)
или по заявке в произвольной форме
на адрес: podpiska@panor.ru;
- ☒ По официальному каталогу Почты России
«Подписные издания» (индекс — **П7311**);
- ☒ По «Каталогу периодических изданий»
Газеты и журналы» агентства «Урал-пресс»
(индекс на полугодие — **82715**).

ОТДЕЛ ПОДПИСКИ:

тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный)
e-mail: podpiska@panor.ru

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:

тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный)
e-mail: reklama@panor.ru

Журнал издается под эгидой
Международной Академии технических наук
и промышленного производства.

Подписано в печать 23.09.2024 г.

Отпечатано в типографии

ООО «Профпринт»,

105103, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 104

Установочный тираж 5000 экз.

Статьи публикуются на безгонорарной основе.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ

**Система энергетического менеджмента
как инструмент развития производительности
и уменьшения потерь российских компаний..... 4**

Зайногабдинов Р. Р.

Стандарты серии ISO являются очень востребованными во всех странах, где развито производство. Тем не менее, стандартами пользуются еще в сфере медицины, образования, науки, логистики. Один из них — это «Система энергетического менеджмента», которая представляет из себя совокупность принципов и методов управления энергосбережением для минимизации расходов на используемые энергетические ресурсы. К сожалению, в Российской Федерации внедрение системы энергетического менеджмента является редким явлением. В статье рассматриваются проблемы, которые могут возникнуть при внедрении системы энергетического менеджмента, и потенциальные пути их решения.

**Организация автоматизированного
электрообеспечения удаленных
базовых станций..... 8**

Егоров А. А., Яковенко Н. А., Дыхлин В. Е.

В статье освещаются автономные системы электрообеспечения, а также их преимущества и недостатки. Мобильные базовые станции в отдаленных районах являются критическими для организации связи местных жителей с крупными населенными пунктами. Также предлагается несколько вариантов решения проблемы отсутствия централизованного электропитания.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

**Как оптимизировать уровень потребления
электричества на предприятии 13**

Алексей Равинский

По данным опроса Центра стратегических разработок, в среднем 6 20 % от общих затрат на содержание предприятия — траты на электроэнергию. О том, как оптимизировать уровень потребления электричества, рассказывает автор статьи.

ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

**Ключевые аспекты эксплуатации
устройств автоматического
повторного включения в современном
электроэнергетическом секторе 16**

Рахматуллин С. С.

В настоящей работе, основанной на анализе специализированной научной литературы, предпринимается попытка исследовать важные и актуальные аспекты применения систем

2 Содержание

автоматического повторного включения (АПВ) в области электроэнергетики. Представляются общие сведения о принципе работы и назначении устройств АПВ. Рассматривается общепринятая классификация последних, а также их функции и основные параметры работы. Перечисляются ключевые особенности эксплуатации данного вида сетевой автоматики. Особое внимание уделяется области применения технологии АПВ в электроэнергетическом комплексе. Описываются насущные проблемы и ограничения, связанные с использованием устройств АПВ в современных системах электроснабжения, а также излагаются возможные пути их преодоления.

Униполярные электрические машины 22

Шульга Р. Н., Лабутин А. А.

Анализ конструкции униполярного электродвигателя и расчеты показали принципиальную возможность создания тихоходного электродвигателя мощностью до 100 кВт с номинальной частотой вращения 200 об./мин. У исследуемого электродвигателя достаточно высокий КПД, однако, токосъем и повышенный вес активных материалов являются существенными недостатками. К достоинствам электромашины можно отнести возможность регулирования частоты вращения как по силовому каналу током якоря, так и по каналу низкой мощности через систему возбуждения. Одновременное управление позволяет определить наиболее оптимальные законы управления с точки зрения быстродействия и экономичности гребной электрической установки. Представляется, что униполярные электродвигатели имеют огромный потенциал в качестве тихоходного электродвигателя, в т. ч., и со сверхпроводящей обмоткой возбуждения.

Особенности использования устройств защитного отключения в одно- и трехфазных сетях переменного тока..... 35

Калайдо А. В., Шворникова А. М., Корнеева А. Н.

Статья посвящена техническим аспектам использования устройств защитного отключения в сетях напряжением 220 и 380 В. Подробно описаны физические основы функционирования защитных устройств в сетях переменного тока напряжением до 1000 В. Выполнен анализ схем подключения устройств защитного отключения в одно- и трехфазных сетях систем заземления типа TN-C-S и TN-S, а также в электрических сетях без заземления.

ДИАГНОСТИКА

Выбор и обоснование параметров технического состояния аккумуляторной батареи..... 41

Воронов А. Н., Костомахин М. Н.

Предлагаемый тепловой метод диагностирования свинцово-кислотной аккумуляторной батареи позволяет, анализируя температурное поле на поверхности корпуса батареи, определять неисправности и прогнозировать ее остаточный ресурс.

ИЗМЕРЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Возможность применения методов анализа и синтеза линейных электрических цепей к некоторым нелинейным цепям..... 44

Абидов К. Г., Рахматуллаев А. И.

В данной статье рассматривается возможность применения к некоторым нелинейным цепям методов анализа и расчета, применяемых в линейных электрических цепях. Показано, что если отказаться от количественных критериев анализа и синтеза нелинейных цепей с помощью линейных принципов, то некоторые задачи нелинейной электротехники можно вполне корректно решить и на базе линейной теории. В качестве примера рассмотрен простейший феррорезонансный стабилизатор напряжения с применением метода суперпозиции (наложения) и эквивалентность феррорезонансных цепей последовательного и параллельного соединений.

Моделирование «сферических ячеек» для эффективности работы солнечных батарей..... 49

Игнатьева Д. Д., Сайфутдинова Е. В.

Ученых геометров и обычных людей всегда интересовала такая фигура, как шар и его «оболочка» — сфера. Множество реальных объектов в астрономии, физике, биологии и других естественных науках имеет форму шара. Мы каждый день встречаемся с шарами. Также задачи на сферу и шар встречаются в заданиях на едином государственном экзамене в школе. Во всем этом и заключается актуальность исследования: очень важно изучать различные свойства представленных фигур для их правильного и грамотного применения в реальной жизни. Целью данной работы является доказательство эффективности использования сферических поверхностей в различных сферах жизнедеятельности человека. Гипотеза данной работы: при изготовлении солнечных батарей в виде сферы или «сферических ячеек» производительность таких батарей увеличится.

ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

Аспекты охраны здоровья и экологии при использовании трансформаторной жидкости 561..... 58

Копейкина Т. В.

В статье рассматривается эффективность применения трансформаторной жидкости 561 как охлаждающей и диэлектрической жидкости для заполнения масляных трансформаторов. Анализируется действие данного жидкого диэлектрика на организм человека, а также оценивается риск воздействия вещества на окружающую среду. Приводятся характеристики по термостойкости и характеристики горения трансформаторной жидкости 561. Сделан вывод о целесообразности применения приведенного жидкого диэлектрика исходя из преимуществ по сравнению с другими видами диэлектриков, применяемых в силовых трансформаторах.

Качество воды: профилактика по стандарту 62

Технологические процессы производства энергии сопровождаются сбросом загрязняющих веществ, в том числе, и в водные объекты. В этой связи необходимо обеспечить эффективную очистку и контроль качества сточных вод. С 1 мая 2023 г. вступил в силу ГОСТ Р 70722–2023 «Качество воды. Перечень маркерных веществ и технологических показателей для сбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива на крупных установках в целях производства энергии», устанавливающий требования к качеству сбрасываемых вод, направленный на предотвращение загрязнения окружающей среды.

Редакционный совет



Киреева Эльвира Александровна,
канд. техн. наук, доцент,
Институт электротехники и электрификации.
Кафедра электроснабжения промышленных предприятий и
электротехнологий,
г. Москва

Елисеев Иван Михайлович, руководитель проекта по реализации
ЭСК ПАО «Россети Северо-Запада», ООО «Параметр»

Смирнов В.В., канд. техн. наук



Шульга Роберт Николаевич,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ВЭИ,
филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» им. академ. Е. И. Забабахина, г. Москва

УДК 338.45:621.31

СИСТЕМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ

Зайногабдинов Р. Р., студент магистратуры,
ФГБОУ ВО «Казанский государственный университет», г. Казань

Стандарты серии ISO являются очень востребованными во всех странах, где развито производство. Тем не менее, стандартами пользуются еще в сфере медицины, образования, науки, логистики. Один из них – это «Система энергетического менеджмента», которая представляет из себя совокупность принципов и методов управления энергосбережением для минимизации расходов на используемые энергетические ресурсы. К сожалению, в Российской Федерации внедрение системы энергетического менеджмента является редким явлением. В статье рассматриваются проблемы, которые могут возникнуть при внедрении системы энергетического менеджмента, и потенциальные пути их решения.

Ключевые слова: энергетика, Россия, менеджмент, управление, производительность.

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM AS A TOOL FOR DEVELOPING PRODUCTIVITY AND REDUCING LOSSES OF RUSSIAN COMPANIES

Zaynogabdinov R. R., graduate student,
FSBEI HE "Kazan State University", Kazan

ISO series standards are in great demand in all countries where production is developed. Nevertheless, the standards are also used in the field of medicine, education, science, and logistics. One of them is the Energy Management System, which represents the consequences and methods of energy conservation management to minimize the cost of using energy resources. Unfortunately, in the Russian Federation the system of introducing an energy sign is a rare phenomenon. The article discusses problems that may arise when implementing an energy management system and possible ways to solve them.

Keywords: energy, Russia, management, management, productivity.

В России большой популярностью пользуется стандарт 9001-2015 «Система менеджмента качества», кроме того, предприятия внедряют этот стандарт не только для собственного развития и повышения качества продукции, но и с целью соответствовать требованиям поставщиков продукции. Также самыми популярными системами являются экологический менеджмент и система менеджмента по охране труда. Многие компании интегрируют их, тем самым управляют комплексно, фокусируясь на каждой сфере производства. К сожалению, мало уделяется внимание Системе энергетического менеджмента – стандарту ISO 50001-2018.

ISO (Международная организация по стандартизации) является Всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO) [1]. Стандарт ИСО 50001:2011 по Системе энергетического менеджмента является основой для разработки оптимального, действующего энергетического менеджмента на производственных предприятиях. Предприятия, применяющие Систему энергетического менеджмента по стандарту, имеют огромную возможность уменьшить издержки на потребление энергии и снизить негативное воздействие на окружающую среду [3].

На сегодняшний день система энергетического менеджмента применяется все более широко, особенно в европейских странах. В Германии же на основе Международного стандарта ИСО 50001-2018 разработана Система энергетического менеджмента и защиты климата Немецкого энергетического агентства Dena. Она адаптирована даже для муниципалитетов и внедряется в таком виде с 2014 г., а по состоянию на 2020 г. около 70 городов в Германии и 16 городов в Китае уже внедрили эту Систему. Данный опыт передали и России. К примеру, пилотное внедрение немецкой Системы энергоменеджмента в Республике Башкортостан (Нефтекамск) и Московской области сопровождается адаптацией под условия России [3].

Для соизмерения топливно-энергетических ресурсов различных видов в странах СНГ используется такое понятие, как условное топливо. Под условным топливом (у.т.) понимается такое, которое имеет теплоту сгорания 29 330 кДж/кг (7000 ккал/кг). Натуральное топливо приводится к условному по формуле:

$$B_y = B_n \cdot \frac{Q_n}{Q_y},$$

где B_n – количество натурального топлива;
 Q_n – теплота сгорания натурального топлива;

Q_y – теплота сгорания условного топлива [5].

В Российской Федерации в данное время потенциал энергосбережения составляет от 35 до 45 % всего современного энергопотребления, что составляет 350–460 млн т у.т. [4].

Целью стандарта ISO 50001-2018 является предоставление организациям структурированного удобного руководства по оптимизации процесса использования энергетических ресурсов. Многие компании, внедрившие систему энергетического менеджмента, получили огромную возможность минимизировать издержки на использование энергии и уменьшить неблагоприятное воздействие на окружающую среду [2].

Внедрение системы энергетического менеджмента может обеспечить:

- обнаружение сбоев в системах энергопотребления;
- вмешательство при опасных тенденциях к увеличению затрат энергоресурсов;
- нахождение рекомендуемых обновлений, их приоритет;
- больше внимания к использованию энергии на любых уровнях потребления [2].

Несмотря на потенциально ощутимый эффект, не все производители хотят внедрить у себя систему энергетического менеджмента, так как это требует инвестиционных затрат, и в процессе внедрения могут возникнуть некоторые проблемы.



Рис. 1

На рис. 1 представлены потенциальные проблемы при внедрении системы энергетического менеджмента, с которыми часто сталкиваются отечественные компании.

Для успешного внедрения системы энергетического менеджмента необходимо выбрать наиболее оптимальную схему управления. На рис. 2 представлена модель внедрения системы энергетического менеджмента по ISO 50001-2018. Предлагается в первую очередь разработка энергетической политики.

Многие российские энергоменеджеры недооценивают значение энергетической политики в достижении поставленных целей. Однако не случайно ее разработка, утверждение и распространение являются одними из первых требований стандарта ISO 50001-2018 [6]. Энергополитика содержит в себе такую информацию, как обязательные компоненты, обозначение ответственности руководства, определение охвата системы, выделение ресурсов, доступность информации, непрерывное улучшение.

Исходя из политики компании, проводится этап «Энергетическое планирование». Также самым важным этапом является «Проверка», который может включать в себя энергоаудиты, контроль внешних сторон, анализы руководства, меры по корректирующим и предупреждающим действиям. Компаниям, где уже внедрены другие системы ISO, будет намного легче внедрить у себя систему энергетического менеджмента, интегрировав ее с другими.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проблемы внедрения стандарта ISO 50001-2018 положительно повлияло бы на энергоэффективность российских предприятий. Применяв предложенную систему в отечественных предприятиях и предотвратив потенциальных проблем, можно без больших финансовых потерь достигнуть значительной экономии энергии и уменьшить негативных последствий воздействий на окружающую среду.



Рис. 2. Модель ISO 50001

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ISO 50001-2018.
2. Энергетический менеджмент: монография / И.Г. Ахметова, Л.Р. Мухаметова, Н.А. Юдина. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – 146 с. ISBN 978-5-89873-466-4.
3. Материалы круглого стола «Энергоэффективное и устойчивое развитие городов» в рамках XV Российско-немецкого форума городов-партнеров / Дюрен, ФРГ, июнь 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dena.de/newsroom/veranstaltungen/2019/xv-deutsch-russische-staedtepartnerkonferenz/>
4. Энергетический менеджмент: учеб. пособие [Электронный ресурс] // Владимир. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 85 с.
5. Гулбрандсен Т.Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: учеб.-метод. пособие / Т.Х. Гулбрандсен, Л.П. Падалко, В.Л. Червинский. – Минск: БГАТУ, 2010. – 240 с.
6. Скобелев Д.О., Степанова М.В. Энергетический менеджмент: прочтение 2020. Руководство по управлению энергопотреблением для промышленных предприятий. – М.: Колорит, 2020. – 92 с.

**Для оформления подписки через редакцию
пришлите заявку в произвольной форме по адресу
электронной почты podpiska@panor.ru
или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22
(многоканальный).**

УДК 681.5

Ключевые аспекты эксплуатации устройств автоматического повторного включения в современном электроэнергетическом секторе

Рахматуллин С. С., магистрант 1-го курса

E-mail: samatrakhmatullin@gmail.com,

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань

В настоящей работе, основанной на анализе специализированной научной литературы, предпринимается попытка исследовать важные и актуальные аспекты применения систем автоматического повторного включения (АПВ) в области электроэнергетики. Представляются общие сведения о принципе работы и назначении устройств АПВ. Рассматривается общепринятая классификация последних, а также их функции и основные параметры работы. Перечисляются ключевые особенности эксплуатации данного вида сетевой автоматики. Особое внимание уделяется области применения технологии АПВ в электроэнергетическом комплексе. Описываются насущные проблемы и ограничения, связанные с использованием устройств АПВ в современных системах электроснабжения, а также излагаются возможные пути их преодоления.

Ключевые слова: электроэнергетика, электрооборудование, электроснабжение, эксплуатация, обслуживание, сетевая автоматика, АПВ, аварийные ситуации.

KEY ASPECTS OF OPERATING AUTOMATIC RECLOSING DEVICES IN THE MODERN ELECTRIC POWER SECTOR

Rakhmatullin S. S., 1st year master student,

FSBEI of HE "Kazan State Energy University", Kazan

In this work, based on the analysis of specialized scientific literature, an attempt is made to explore important and relevant aspects of the use of automatic reclosure (AR) systems in the field of electric power industry. General information about the operating principle and purpose of automatic reclosure devices is presented. The generally accepted classification of the latter, as well as their functions and basic operating parameters, is considered. The key features of the operation of this type of network automation are listed. Particular attention is paid to the application of autorecloser technology in the electric power complex. The current problems and limitations associated with the use of autorecloser devices in modern power supply systems are described, and possible ways to overcome them are outlined.

Keywords: electric power industry, electrical equipment, power supply, operation, maintenance, network automation, automatic reclosure, emergency situations.

Автоматическое повторное включение (Automatic Re-closing, или АПВ) является одним из основных средств обеспечения надежности электроснабжения и повышения эффективности работы энергосистем. АПВ представляет собой процесс автоматического восстановления питания потребителей после его кратковременного отключения или повреждения оборудования, установленного на линиях электропередачи.

В современном мире, где надежность снабжения потребителей электроэнергией играет важную роль, использование устройств АПВ становится все более актуальным. Устройства АПВ обеспечивают непрерывность процесса производства, распределения и передачи электричества, что имеет важное значение не только для субъектов электросетевого комплекса, но и для промышленных предприятий, коммунальных служб и иных организаций, где остановка электроснабжения может привести к значительным экономическим потерям и даже к авариям [1, с. 189].

Существует множество особенностей, принципов работы, возможностей и ограничений эксплуатации систем АПВ. Данные аспекты исследуются учеными разрозненно, в связи с чем возникает необходимость их объединения и емкого представления единым структурированным текстом. Цель данной статьи – исследовать актуальные аспекты эксплуатации устройств АПВ, функционирующих сегодня в электроэнергетическом секторе нашей страны.

Прежде чем приступить к исследованию проблем эксплуатации устройств АПВ, рассмотрим назначение, ключевые принципы и особенности их работы, а также разновидности и область их применения.

Назначение АПВ заключается в реализации следующих задач:

- восстановление электроснабжения потребителей после его кратковременного перерыва;
- уменьшение времени простоя оборудования и сокращение потерь электроэнергии;
- снижение риска развития аварийных ситуаций и улучшение устойчивости работы электроэнергетической системы;
- обеспечение надежности систем электроснабжения в целом.

Устройства АПВ работают по следующему принципу: при кратковременном нарушении электроснабжения они автоматически восстанавливают его через определенный промежуток времени, который задается настройками и определяется в зависимости от типа оборудования и условий эксплуатации [2, с. 24].

Рассмотрим классификацию устройств АПВ:

1. По принципу устройства: механические, полупроводниковые, микропроцессорные.

Механические АПВ были одними из первых, которые использовались для обеспечения бесперебойного электроснаб-

жения. Они представляют собой простые и надежные конструкции, принцип действия которых основан на механическом взаимодействии элементов устройства. Такие АПВ применяются в основном в низковольтных распределительных сетях (РС) и не требуют наличия постоянного контроля со стороны обслуживающего персонала.

Другой тип устройств АПВ основан на использовании полупроводниковых приборов, таких как транзисторы, тиристоры и диоды. Эти АПВ обладают рядом преимуществ перед электромеханическими реле, используемыми в традиционных системах повторного включения: высокая скорость срабатывания, повышенная надежность, уменьшенные размеры и малый вес.

Микропроцессорные АПВ обладают высокой точностью и быстродействием, а также позволяют реализовать более сложные алгоритмы работы. Они основаны на микропроцессорных технологиях и современных цифровых элементах, которые обеспечивают высокие показатели стабильности работы оборудования. Используются в основном на высоковольтных подстанциях и электростанциях, где требуется наивысший уровень надежности и контроля. Такие АПВ способны осуществлять самодиагностику, автоматическое определение неисправностей, ведение журналов событий, а также оптимизировать работу электроустановок [3, с. 48].

2. По принципу действия устройства АПВ можно разделить на две основные группы:

- АПВ с контролем напряжения на шинах подстанции;
- АПВ без контроля напряжения.

АПВ с контролем напряжения используются в тех случаях, когда требуется исключить повторное включение при отсутствии разности потенциалов на шинах. В таких устройствах контроль осуществляется с помощью специальных реле напряжения, которые отключают АПВ при отсутствии или недостаточном напряжении. АПВ без контроля напряжения для своего срабатывания не требуют наличия

разности потенциалов на шинах. Такие устройства могут быть использованы при наличии быстро восстанавливающихся потребителей или в случае отсутствия возможности контроля напряжения на шинах.

3. По времени срабатывания устройства АПВ делятся на следующие типы:

- быстродействующие АПВ (БАПВ), время срабатывания которых составляет от 0,1 до 0,3 с;
- небыстродействующие АПВ, длительность срабатывания которых находится в диапазоне 0,5–1 с;
- медленнодействующие АПВ, продолжительность срабатывания которых превышает 1 с.

Быстродействующие АПВ используются в случаях, когда кратковременное отключение может быть вызвано внутренним повреждением оборудования. Время срабатывания таких устройств должно быть минимальным, чтобы обеспечить быстрое восстановление электроснабжения. Небыстродействующие и медленнодействующие АПВ применяются в случаях, при которых допускается продолжительное время на восстановление электрического снабжения после аварийного отключения.

4. По числу циклов повторного включения устройства АПВ подразделяются на:

- однократные АПВ, которые срабатывают только один раз после аварийного отключения;
- многократные АПВ (МПАПВ), которые могут срабатывать несколько раз подряд в случае неудачного включения: двукратные АПВ (ДАПВ), трехкратные АПВ (ТАПВ).

Выбор числа циклов повторного включения зависит от типа электроустановки и требований к надежности электроснабжения. Например, для электроустановок с быстро восстанавливающимися потребителями часто используются однократные АПВ. В случае сложных аварийных ситуаций или при наличии потребителей с длительным временем восстановления могут применяться многократные АПВ. Важно отметить распространенность устройств АПВ с контролем синхрониз-

ма, которые предназначены для предотвращения включения на несинхронное включение: АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС) и АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС). Они применяются для восстановления электроснабжения на синхронных двигателях и генераторах, обеспечивая их синхронизацию с электрической сетью после кратковременного отключения. Также существуют АПВ с ожиданием готовности к включению, которые срабатывают только при условии, что все оборудование подготовлено к восстановлению электроснабжения. Нередко используются ускоренные АПВ (УАПВ), предназначенные для сокращения времени перерыва электроснабжения при использовании синхронных компенсаторов и мощных электродвигателей [4, с. 39].

В связи со всем вышеперечисленным, при выборе типа АПВ необходимо учитывать следующие основные параметры данных устройств:

- длительность восстановления электроснабжения – промежуток времени между кратковременным отключением и повторным включением;
- количество циклов АПВ, которое определяет, сколько раз устройство может автоматически восстанавливать электроснабжение после кратковременного отключения, прежде чем перейти в режим ожидания;
- чувствительность – способность устройства АПВ реагировать на кратковременные отключения в различных условиях эксплуатации;
- совместимость с другим оборудованием, установленным в энергосистеме [2, с. 25].

Важно также выделить следующие особенности эксплуатации систем АПВ:

- устройства могут работать на различных напряжениях и частотах, что определяется параметрами системы электроснабжения и требованиями потребителей;
- мощность энергоустановок, к которым подключена АПВ, может варьироваться в широких пределах: от

единиц киловатт до десятков мегаватт;

- АПВ может использоваться для различных типов нагрузок и потребителей (промышленные предприятия, жилые районы, коммерческие объекты);
- системы АПВ должны быть рассчитаны на работу в различных условиях эксплуатации, включая высокие и низкие температуры, влажность, вибрацию, электромагнитные помехи;
- многие системы АПВ имеют возможность дистанционного управления и мониторинга, что позволяет операторам контролировать и управлять их работой из удаленного места [5, с. 168].

Основные области применения АПВ в электроэнергетике включают в себя РС, электростанции, подстанции (ПС). АПВ используется для быстрого восстановления электроснабжения в РС после сбоев или аварий. Это позволяет избежать длительных простоев и обеспечить стабильность работы энергосистемы. На ПС и электростанциях АПВ используется как часть системы автоматического управления и контроля для быстрого восстановления работы оборудования после кратковременных отказов. Устройства АПВ также могут быть применены для автоматического повторного пуска остановленного электрооборудования после устранения причин остановки [6, с. 76].

Исследователи отмечают, что эксплуатация устройств АПВ в электроэнергетике связана с рядом проблем, которые требуют особого внимания и современных решений по их устранению. Рассмотрим данные проблемы, особенности их возникновения и способы устранения.

Одной из основных проблем, возникающих при эксплуатации устройств АПВ, является некорректная настройка параметров срабатывания. Неправильные настройки могут привести к тому, что АПВ будет срабатывать слишком часто, вызывая дополнительные отключения и создавая неудобства для потребителей. Кроме того, слишком частые срабатывания АПВ

могут привести к перегрузке оборудования и повреждению его компонентов. Решение данной проблемы заключается в тщательной настройке параметров устройств АПВ с учетом особенностей конкретной системы электроснабжения, характеристик электрической сети, условий их эксплуатации и требований к надежности энергообеспечения. Для этого необходимо проводить анализ статистики отключений и определять оптимальные параметры срабатывания АПВ. Также следует регулярно проводить мониторинг работы устройств АПВ и при необходимости вносить корректировки в их уставки [7, с. 405].

Следующей проблемой эксплуатации устройств АПВ можно назвать недостаточное внимание к их техническому обслуживанию (ТО). Отсутствие своевременного ТО приводит к сбоям и отказам работы устройств АПВ, что, в свою очередь, вызывает серьезные последствия, такие как нарушение электроснабжения потребителей и повреждение зависимого оборудования. ТО систем АПВ включает в себя проведение проверок, ремонта, замены изношенных деталей и других мероприятий, направленных на поддержание работоспособности устройств, в связи с чем оно требует значительных временных затрат, особенно если устройства расположены на большом расстоянии друг от друга. При этом следует учитывать, что устройства АПВ должны работать в автоматическом режиме без вмешательства оператора, что усложняет процесс мониторинга. Необходимо упомянуть, что на работу устройств АПВ могут влиять внешние факторы, такие как климатические условия, качество кабелей и оборудования, а также наличие электромагнитных помех. Для решения данных проблем необходимо разрабатывать и своевременно внедрять программы регулярного ТО, в рамках которых должна проводиться проверка работоспособности устройств, замена устаревших компонентов, а также модернизация и ремонт оборудования. Кроме того, электросетевым предприятиям важно грамотно обучать свой пер-

сонал, занимающийся обслуживанием систем АПВ, и обеспечивать его всеми необходимыми инструментами и материалами [8, с. 143].

Существует ряд трудностей, связанных с использованием устройств АПВ в современных системах электроснабжения, характеризующихся высокой степенью автоматизации и интеграции различного цифрового оборудования. В связи с этим возникают проблемы совместимости современных устройств АПВ с компонентами на электронном функционировании. Так, АПВ должны работать в тесной связи с микропроцессорными устройствами релейной защиты, что требует разработки специальных алгоритмов взаимодействия между ними [8, с. 144].

Нельзя не упомянуть тот факт, что некоторые устройства АПВ по сей день вызывают нежелательные срабатывания других устройств и создают в техническом аспекте конфликтные ситуации в работе всей энергосистемы. Данная проблема связана с возникновением ложных срабатываний АПВ, что может привести к нежелательным отключениям потребителей. Для предотвращения таких ситуаций необходимо разрабатывать алгоритмы, обеспечивающие селективное срабатывание устройств АПВ только при нарушениях режимов и авариях. Также необходимо учитывать ограничения, связанные с электромагнитными помехами, которые могут воздействовать на работу систем АПВ и вызывать их неправильное срабатывание. Для решения этой проблемы необходимо использовать специальные меры защиты, такие как экранирование кабелей и применение фильтров электромагнитных помех [9, с. 53].

Таким образом, устройства АПВ играют важную роль в обеспечении стабильной и бесперебойной работы объектов электроэнергетического комплекса и предприятий иных отраслей экономики. Они позволяют быстро восстановить электроснабжение после кратковременных перебоев и аварийных отключений, снижая тем самым риск технологических нарушений и улучшая качество электросетевого обслужи-

вания потребителей. Как показал анализ, использование систем АПВ требует высокой квалификации и профессионализма персонала, а также строгого соблюдения всех нормативных требований и инструкций. В работе выявлено, что от качества ТО и настройки устройств АПВ зависит эффективность их функционирования и безопасность эксплуатации электрообо-

рудования. Важным аспектом применения систем АПВ является учет особенностей и специфики каждого объекта, на котором они установлены. Исследование показало, что для решения перечисленных в статье проблем эксплуатации данного вида сетевой автоматики необходимо постоянное совершенствование методов и технологий его диагностики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дедов Д.Д., Смакова А.Р., Пудовинникова М.В. Автоматическое повторное включение // Электроэнергетика сегодня и завтра. – 2023. – № 1. – С. 189–191.
2. Рахматуллин С.С. Исследование ключевых условий расчета уставок устройств АПВ // Студенческий. – 2024. – № 12. – С. 24–25.
3. Гуревич В.И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 5. – С. 47–62.
4. Кошельков И.А., Дони Н.А., Петров А.А. Особенности автоматического повторного включения с контролем синхронизма // Цифровая электротехника: проблемы и достижения. – 2012. – № 1. – С. 39–53.
5. Вафин С.С. Влияние устройств автоматического повторного включения на линии электропередачи // Мировые исследования в области естественных и технических наук. – 2023. – № 2. – С. 168–170.
6. Виноградов А.В. и др. Эффективность использования автоматического повторного включения в сопоставлении с причинами повреждений ВЛ-10 кВ // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 42. – С. 74–80.
7. Просвирыков П.Д. Особенности функциональной логики АПВ в терминалах различных производителей. Выбор уставок АПВ для терминалов с нетиповой логикой // Электроэнергетика глазами молодежи – 2016: Материалы VII Международной молодежной научно-технической конференции. – Казань: КГЭУ, 2016. – С. 405–406.
8. Рахматуллин С.С. К вопросу о важности техобслуживания микропроцессорной релейной защиты в электроэнергетике // Академическая публицистика. – 2024. – № 4. – С. 143–145.
9. Гагарин С.А. и др. Оперативное управление в цифровой электроэнергетике // Релейная защита и автоматизация. – 2020. – № 2. – С. 52–59.



На правах рекламы

УЛУЧШАЯ КАЧЕСТВО, МЕНЯЕМ МИР

upr.panor.ru

Научно-практический журнал «Управление качеством» для руководителей производств, специалистов по качеству, стандартизации, сертификации, техническому регулированию и оценке соответствия, а также для учащихся и аспирантов вузов технической направленности.

Журнал «Управление качеством» — энциклопедия знаний в сфере стандартизации, технического регулирования, менеджмента качества. Публикуемые материалы предлагают профессиональный подход к решению вопросов повышения качества на всех уровнях управления и производства. Одна из главных задач журнала «Управление качеством» — анализ методологии, теории и практики обеспечения

качества продукции, применяемых в производстве как отечественными, так и зарубежными компаниями.

Ежемесячное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Качество в России
- Стандартизация
- Техническое регулирование
- Менеджмент качества
- Качество за рубежом
- Контроль качества
- Теория и практика
- Календарь отраслевых выставок, форумов, конференций на каждый квартал

подписные индексы



82718



P7220

УДК 621.316.99

Особенности использования устройств защитного отключения в одно- и трехфазных сетях переменного тока

Калайдо А. В.,

кандидат технических наук, доцент кафедры технологий производства и профессионального образования,
E-mail: kalaydo18@mail.ru

Шворникова А. М.,

кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и охраны труда,
E-mail: shvorni@mail.ru

Корнеева А. Н.,

кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и охраны труда, доцент,
E-mail: korneeva_an@mail.ru

ФГБОУ ВО «ЛГПУ», г. Луганск, ЛНР.

Статья посвящена техническим аспектам использования устройств защитного отключения в сетях напряжением 220 и 380 В. Подробно описаны физические основы функционирования защитных устройств в сетях переменного тока напряжением до 1000 В. Выполнен анализ схем подключения устройств защитного отключения в одно- и трехфазных сетях систем заземления типа TN-C-S и TN-S, а также в электрических сетях без заземления.

Ключевые слова: защитное отключение, фаза, нулевой провод, ток, магнитопровод, заземление.

FEATURES OF THE USE OF PROTECTIVE SHUTDOWN DEVICES IN SINGLE- AND THREE-PHASE AC NETWORKS

Kalaido A. V.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production Technologies and Vocational Education,

Shvornikova A. M.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Life Safety and Labor Protection

Korneeva A. N.,

Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Life Safety and labor protection, Associate Professor

FGBOU VO «LGPU», Lugansk, LNR.

The article is devoted to the technical aspects of the use of protective shutdown devices in 220 and 380 V networks. The physical foundations of the functioning of protective devices in AC networks with a voltage of up to 1,000 V. are described in detail. The analysis of wiring diagrams for protective disconnection devices in single- and three-phase networks of TN-C-S and TN-S type grounding systems, as well as in electrical networks without grounding, has been performed.

Keywords: *protective shutdown, phase, zero wire, current, magnetic circuit, grounding.*

Современный человек почти 7 000 часов в год (~ 80 % времени) проводит в жилых и общественных зданиях, поэтому главное требование к внутренней среде жизнедеятельности — ее безопасность и комфортность. Однако высокий технологический уровень развития современного общества сформировал одну из основных бытовых угроз — опасность поражения электрическим током. Не менее значима и угроза бытовых электрических пожаров, которых в РФ ежегодно случается около 50 000. Эффективным решением данной проблемы может стать использование технических средств защиты от поражения электрическим током, в частности — устройств защитного отключения [1], пришедших на смену плавким предохранителям.

Устройство защитного отключения (УЗО) — пассивный электрический аппарат, работающий в дежурном режиме и автоматически отключающий участок электрической цепи при возникновении в нем тока утечки. УЗО способно замыкать и размыкать электрические цепи, поэтому его также называют дифференциальным выключателем.

Принцип действия УЗО состоит в ограничении времени протекания тока по нежелательным в нормальных условиях эксплуатации путям:

— через тело человека при его однофазном прикосновении к оказавшимся под напряжением частям оборудования (защита временем);

— через поврежденную изоляцию в землю, что уже при мощностях в 40–60 Вт может привести к локальному возгоранию [2].

Устройства защитного отключения достаточно давно являются неотъемлемым элементом распределительной электрической сети на объектах социально-бытового и промышленного назначения. Но наличие нескольких одновременно используемых в городском хозяйстве режимов нейтрали и разнообразие конструктивных разновидностей самих УЗО делают выбор схемы подключения достаточно сложной инженерной задачей.

В общем случае УЗО сравнивает значения входного и выходного токов обслуживаемой цепи с целью обнаружения разности, указывающей на его утечку сторонними путями [3]. При нормальном

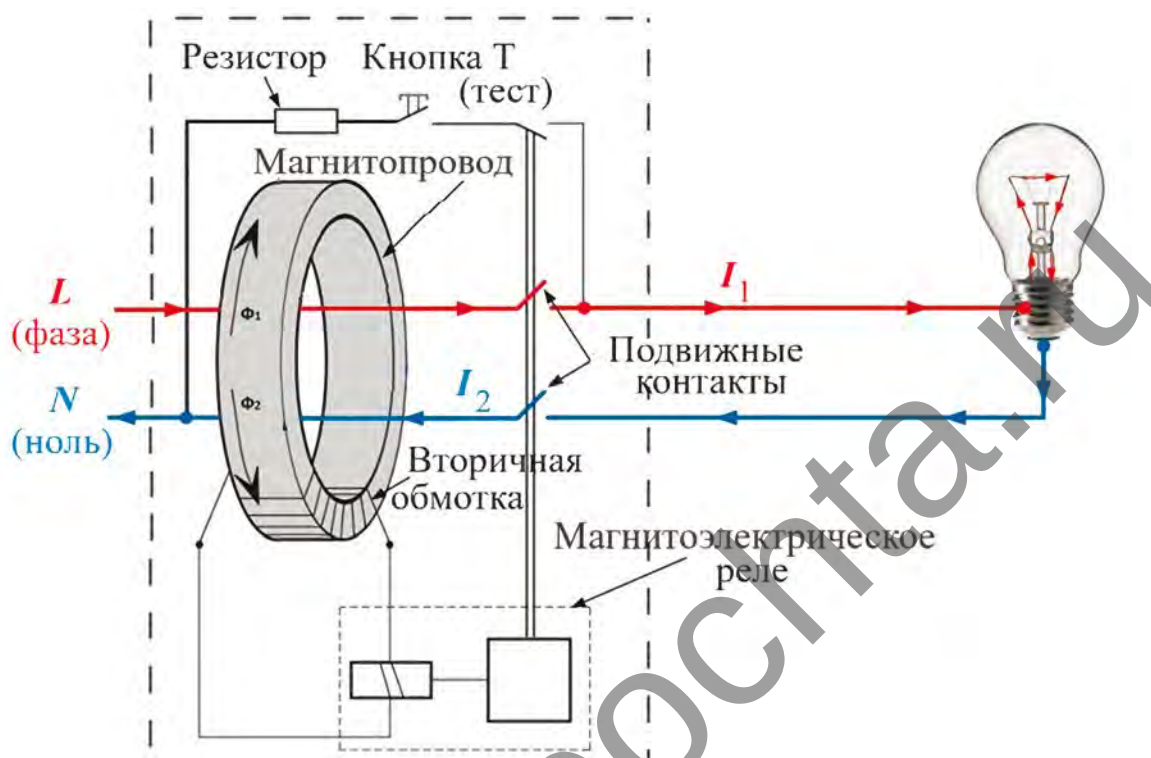


Рис. 1. Схема работы устройства защитного отключения

режиме работы сети подвижные контакты УЗО замкнуты: ток I_1 от фазного провода проходит через магнитопровод УЗО, затем через внешнюю нагрузку и возвращается в сеть по нулевому проводнику через магнитопровод. При этом величина тока I_2 равна величине тока I_1 , поскольку цепь неразветвленная (рис. 1).

Физическая сторона функционирования данного устройства состоит в следующем: ток I_1 , проходя через магнитопровод УЗО, создает в нем магнитный поток Φ_1 , равный

$$\Phi_1 = L \cdot I_1,$$

где L – индуктивность вторичной обмотки устройства защитного отключения, Гн.

В свою очередь ток I_2 также создает в магнитопроводе магнитный поток Φ_2 , равный по величине, но противоположный по направлению Φ_1 . Магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , направленные навстречу друг другу, взаимно уравниваются, в результате чего суммарный магнитный поток в магнитопроводе:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = 0.$$

Как следствие, во вторичной обмотке ток не индуцируется, подвижные контакты замкнуты, а электрическая находится в нормальном режиме работы.

Но если токоведущей части электрической цепи коснулся человек или имеет место замыкание на землю при потере изоляционных свойств проводника, то добавляется нежелательный путь прохождения тока и электрическая цепь становится разветвленной. В этом случае часть тока, поступающая от фазного провода, уже не возвращается в сеть, а проходя через тело человека (или место контакта с землей), уходит в землю. Следовательно, ток I_2 , который будет возвращаться в сеть через магнитопровод УЗО по нулевому проводу, будет меньше тока I_1 , и величина магнитного потока Φ_1 будет отличаться от величины магнитного потока Φ_2 :

$$\Phi_1 > \Phi_2.$$

Возникший суммарный магнитный поток $\Delta\Phi$ индуцирует электрический ток во вторичной обмотке [5]. Если этот ток превышает заданное пороговое значение тока пускового механизма, то он срабаты-

вает и воздействует на исполнительный механизм, состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, и размыкает электрическую цепь. Ток утечки может быть создан искусственно при проверке работоспособности устройства защитного отключения нажатием кнопки «ТЕСТ», которое всегда должно приводить к срабатыванию устройства.

Из вышесказанного видно, что основной рабочей характеристикой УЗО является устанавливаемая величина тока утечки — минимальная сила тока утечки, которая приводит к размыканию контактов при срабатывании устройства. По этому параметру УЗО делится на два типа:

— устройства для защиты от поражения электрическим током — рабочий диапазон 10...30 мА в зависимости от класса помещения по опасности поражения током;

— устройства для защиты от возгораний — рабочий диапазон 100...500 мА в зависимости от класса пожарной опасности помещения.

Поскольку тяжесть электротравмы определяется также и продолжительностью прохождения тока через тело человека, то не менее важной рабочей характеристикой УЗО является время его срабатывания [4]:

- 0,4 с — в сетях с напряжением 220 В;
- 0,2 с — в сетях с напряжением 380 В.

Также следует иметь в виду, что само УЗО не обладает функцией отключения сверхнормативных токов и по этой причине может применяться в комплексе с автоматическим выключателем. Единый аппарат, сочетающий в себе функции УЗО и автоматического выключателя, называется дифференциальным автоматом [3].

Как уже отмечалось выше, УЗО находят достаточно широкое распространение как в однофазных, так и в трех-

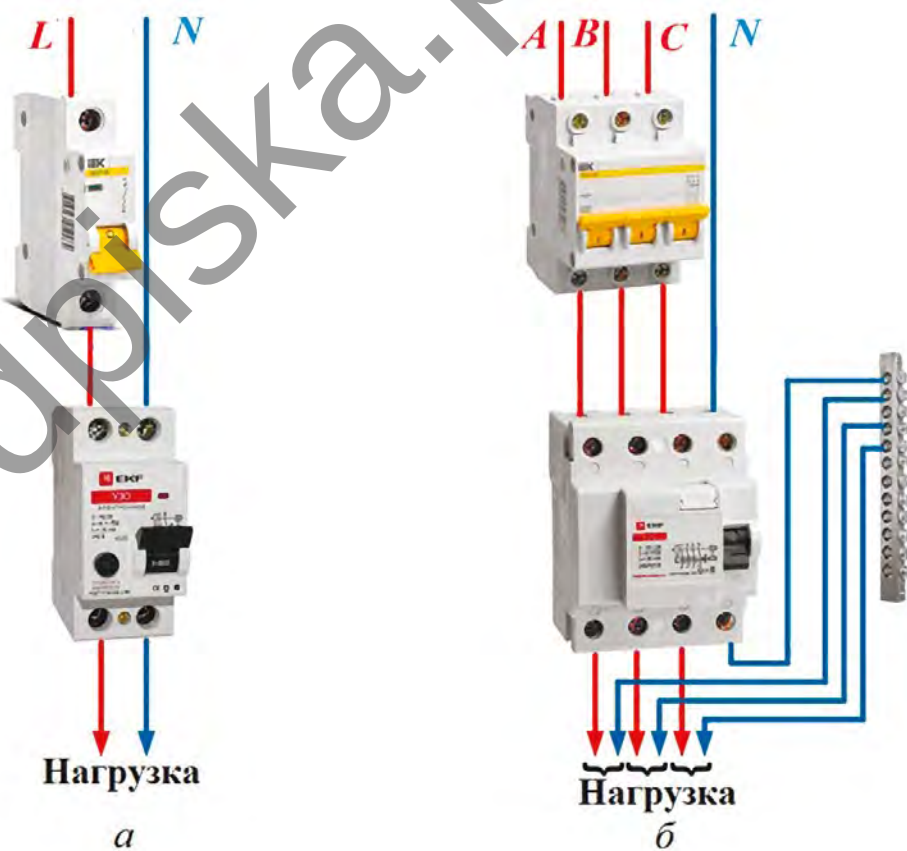


Рис. 2. Схема подключения УЗО в сети без нулевого защитного проводника:
а — однофазная сеть, б — трехфазная сеть

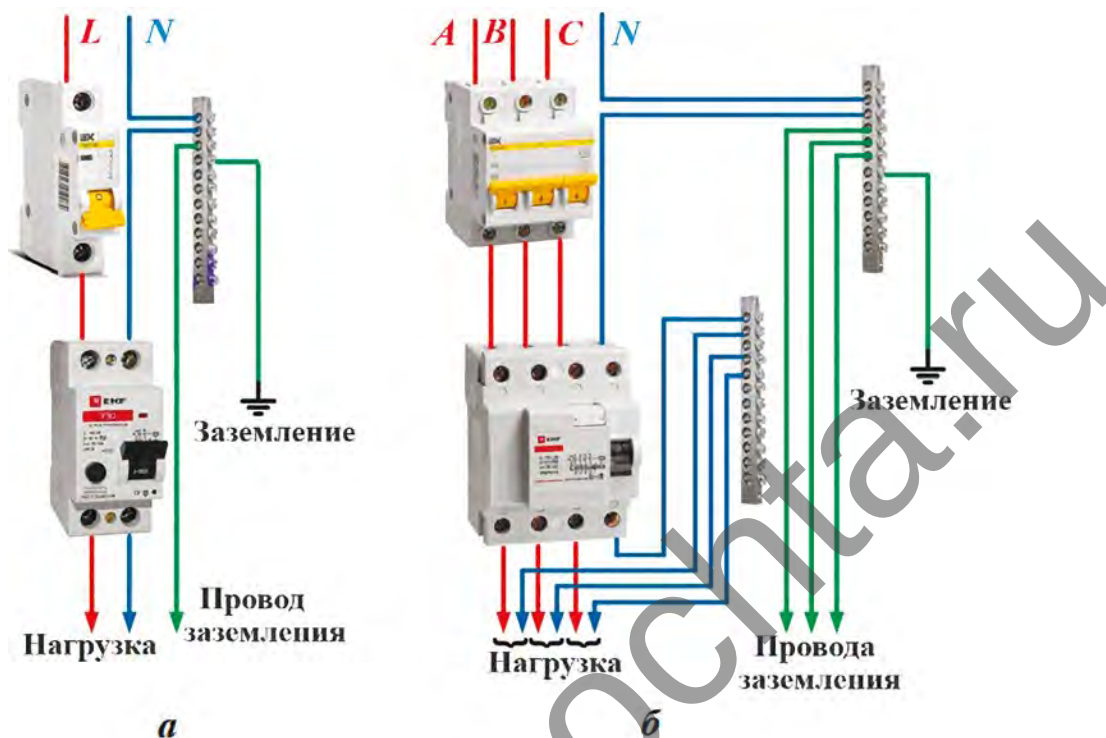


Рис. 3. Схема подключения УЗО в электросети системы TN-C-S:
а — однофазная сеть, б — трехфазная сеть

фазных сетях переменного тока. В зависимости от типа сети может иметь место одна из описанных ниже схем подключения.

Подключение УЗО без заземления (рис. 2) применяется, как правило, в зданиях со старой электропроводкой, в который отсутствует нулевой защитный провод, то есть в однофазных двухпроводных и трехфазных трех- и четырехпроводных сетях. В последнем случае на каждой стороне имеются три клеммы для фазных проводников (фазы A, B и C) и одна для включения в нейтраль, причем четырехполюсные устройства также могут работать в трехфазной трехпроводной сети.

Недостаток схемы, показанной на рис. 2, состоит в том, что при обрыве нулевого провода УЗО теряет питание и перестает выполнять защитную функцию.

Подключение УЗО в сетях с заземлением имеет две конструктивные разновидности:

1. Подключение УЗО в электросети системы TN-C-S (рис. 3). Это система

типа TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник), начиная от источника питания, но в определенной части этой системы разделяются на нулевой рабочий (N-проводник) и нулевой защитный (PE-проводник).

Данная система достаточно надежна и обеспечивает высокий уровень электробезопасности за счет защиты от обрыва нуля. Благодаря невысокой стоимости и хорошим защитным характеристикам система TN-C-S в настоящее время получила наибольшее распространение.

2. Подключение УЗО в электросети системы TN-S, в которой рабочий и нулевой защитный проводники разделены по всей цепи (рис. 4).

Данная система обеспечивает высокий уровень безопасности, так как в ней исключена возможность появления опасного электрического потенциала на корпусах электрооборудования, что имеет место при повреждении PEN-проводника в электросети системы TN-C-S.

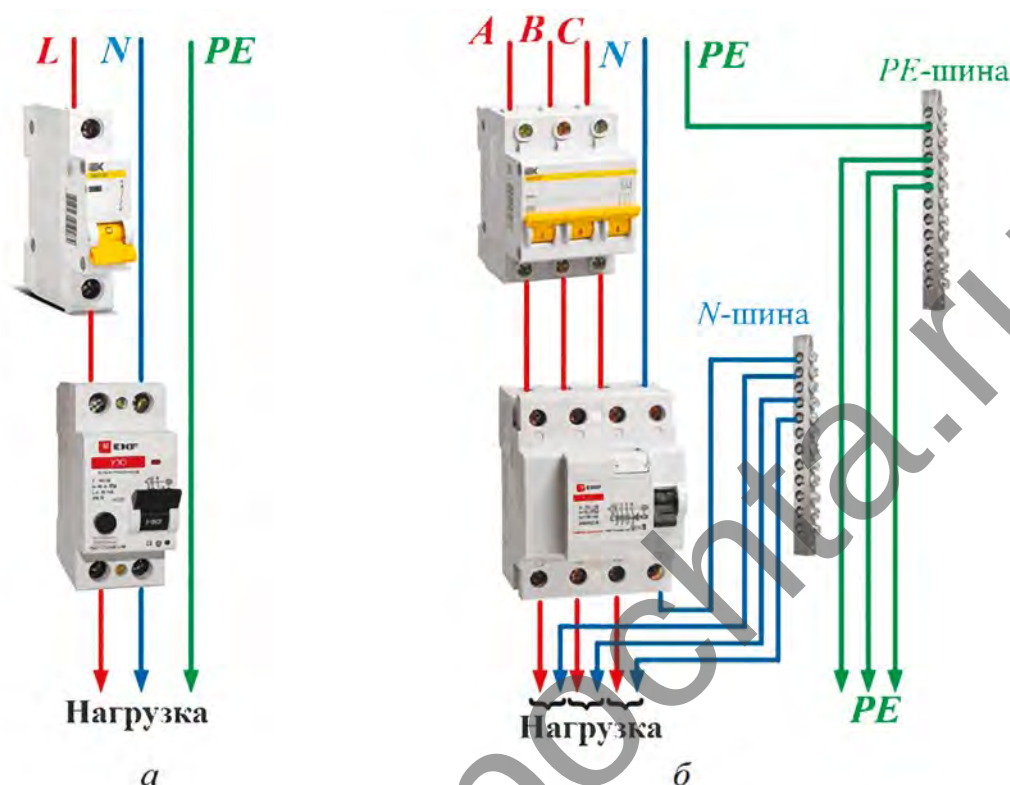


Рис. 4. Схема подключения УЗО в электросети системы TN-S:
а — однофазная сеть, б — трехфазная сеть

Таким образом, по результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Устройства защитного отключения представляют собой класс весьма эффективных дополнительных средств защиты от поражения электрическим током, которые с одинаковым успехом могут применяться в как однофазных двух- и трехпроводных сетях, так и в трехфазных трех-, четырех- и пятипроводных сетях.

2. Объединение устройства защитного отключения с автоматическим выключа-

телем в дифференциальный автомат позволяет достичь максимальной степени электробезопасности жилых и служебных помещений.

3. Ограничения продолжительности протекания тока через тело человека за счет быстрого размыкания цепи позволяет снизить вероятность электротравмы со смертельным исходом в сотни раз.

4. В рассмотренных системах с глухозаземленной нейтралью (TN-C-S и TN-S) УЗО может устанавливаться для защиты как одиночных, так и группы электропотребителей.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 50571.3–2009 (МЭК 60364-4-41:2005) Электроустановки низковольтные. Часть 4–41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током.
2. Петров Г. М. Условия выбора устройств защитного отключения для электрических сетей с разными режимами нейтрали / Г. М. Петров, П. В. Ионов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2011. — № 54. — С. 373–378.
3. Громов, А. А. Устройства защитного отключения. Типы и виды // Научный электронный журнал «Меридиан», 2020. — № 7 (41). — С. 312–314.
4. Елкин В. Д. Как можно повысить надежность устройств защитного отключения / В. Д. Елкин, Т. В. Елкина // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. — № 1. — С. 50–54.
5. Шумейко С. В. Устройства защитного отключения в системах электроснабжения / С. В. Шумейко, А. В. Левшов // Инновационные перспективы Донбасса. Материалы 3-й Международной научно-практической конференции, 2017. — С. 276–279.