КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

КГЭУ

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

XIV Международная молодежная научная конференция

ТОМ I **23-26 апреля 2019 г. Казань**

Часть 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Министерство образования и науки Республики Татарстан

Академия наук Республики Татарстан

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

23–26 апреля 2019 г.

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Часть 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова

Казань
2019

УДК 621.3
ББК 31.2
Ч54

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «КНИТУ» А.Н. Николаев;
канд. техн. наук, проректор по НР ФГБОУ ВО «КГЭУ» Э.В. Шамсутдинов

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор),
Э.В. Шамсутдинов (зам. гл. редактора), А.Г. Арзамасова

Ч54 **XIV Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения».** В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 23–26 апреля 2019 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – Ч. 1. – 430 с.

ISBN 978-5-89873-547-0 (т. 1, ч. 1)
ISBN 978-5-89873-546-3

Опубликованы материалы конференции, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области электроэнергетики и электроники по следующим научным направлениям: электроэнергетические системы, надежность, диагностика; электроснабжение; промышленная электроника и светотехника, электрические и электронные аппараты; перспективные материалы и направления развития физики, химии, математики и материаловедения; электротехнические комплексы и системы; энергоэффективность и энергобезопасность производства; системная автоматика, релейная защита и противоаварийное управление в электроэнергетических системах; инженерная защита окружающей среды и охрана труда на производстве; возобновляемые источники энергии и безопасность; электрические станции и подстанции.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы конференции публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-547-0 (т. 1, ч. 1)
ISBN 978-5-89873-546-3

© Казанский государственный энергетический университет, 2019

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 550.812.14

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ЭНТРОПИЙНЫХ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОТ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

С.О. Гапоненко
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
pts_kgeu@mail.ru

Аннотация. Разработка программно-аппаратного комплекса на основе теоретического моделирования и экспериментального исследования зависимости энтропийных виброакустических параметров линейно-протяженных энергетических объектов от их технического состояния направлена на повышение надежности и экономичности функционирования энергетического оборудования. Линейно-протяженные энергетические объекты являются элементами конструкции многих систем. Их используют в объектах химического производства, авиастроении, нефтегазовой промышленности, в системах водоснабжения и теплоснабжения и т.д. Аварии линейно-протяженных энергетических объектов на опасных производственных объектах часто обусловлены наличием дефектов и приводят к значительному экономическому ущербу. Линейно-протяженные энергетические объекты являются достаточно дорогостоящими объектами, их замена даже по достижении ими нормативного срока эксплуатации – задача непростая и очень затратная. В связи с этим получение достоверной информации о техническом состоянии линейно-протяженных энергетических объектов и их отдельных частей является актуальной задачей.

Ключевые слова: надежность, энергосбережение, неразрушающий контроль, диагностика, энергоэффективность, вибродиагностика.

Линейно-протяженные энергетические объекты являются элементами конструкции многих систем. Их используют в объектах химического производства, авиастроении, нефтегазовой промышленности, в системах водоснабжения и теплоснабжения и т.д. Аварии линейно-протяженных энергетических объектов на опасных производственных объектах часто обусловлены наличием дефектов и приводят к значительному экономическому ущербу.

Линейно-протяженные энергетические объекты являются достаточно дорогостоящими объектами, их замена даже по достижении ими нормативного срока эксплуатации задача непростая и очень затратная.

В принятой Энергетической стратегии России на период до 2035 года, а также Федеральном законе от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» одними из приоритетных направлений развития

энергетики являются увеличение надежности теплоснабжения, а также сокращение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя.

Важнейшее направление промышленной безопасности – повышение энергоэффективности и надежной эксплуатации энергетического оборудования и коммуникаций, которое обеспечивается, в частности, разработкой и внедрением новых, более современных способов и приборов контроля их технического состояния.

В связи с этим получение достоверной информации о техническом состоянии линейно-протяженных энергетических объектов и их отдельных частей позволит значительно повысить надёжность и безопасность их работы.

Надёжная и эффективная работа энергетических систем во многом зависит от технического состояния энергетического оборудования и агрегатов. Одной из основных проблем в современной российской энергетике является высокий износ оборудования. Решение данной проблемы включает в себя задачу предупреждения серьёзных техногенных аварий и катастроф и требует ведения систематического мониторинга и диагностики энергетического оборудования. Своевременная диагностика оборудования позволяет оценить его техническое состояние, обеспечить безаварийную эксплуатацию и увеличить срок службы.

Надежность – понятие комплексное, оно закладывается на этапе проектирования, реализуется на этапе монтажа, поддерживается на этапе эксплуатации. Важным фактором обеспечения надёжной работы опасных производственных объектов является оценка реального технического состояния линейно-протяжённых энергетических объектов.

Широкое применение на сегодняшний день находят методы оценки технического состояния линейно-протяженных энергетических объектов по их виброакустическим параметрам. Это связано с тем, что вибросигнал обладает достаточно ёмкой информацией о состоянии оборудования и его элементов. Для обеспечения эффективного применения вибродиагностики необходимо, чтобы эта информация была должным образом извлечена из вибросигналов.

Для исследования хаотических колебаний в физических системах можно успешно использовать методы энтропийной параметризации диагностических сигналов (энтропия Шеннона, Колмогорова, Гиббса). Их применение для анализа виброакустических сигналов позволит повысить достоверность контроля линейно-протяженных энергетических объектов и, как следствие, позволит существенно повысить надёжность эксплуатации данных объектов.

Научная новизна заключается в обосновании возможности применения методов энтропийной параметризации диагностических

сигналов (энтропии Шеннона, Колмогорова, Гиббса) для анализа виброакустических колебаний линейно-протяженных энергетических объектов при оценке их технического состояния.

Предлагаемый проект находится на стыке технологий промышленного контроля, механики деформируемого твердого тела и нелинейной динамики. Он позволит разработать новую уникальную методику оценки технического состояния линейно-протяженных энергетических объектов. Применение энтропийной параметризации для анализа виброакустических сигналов позволит повысить достоверность контроля и надёжность эксплуатации линейно-протяженных энергетических объектов.

Источники

1. Гапоненко С.О. Акустико-резонансный информационно-измерительный комплекс и методика контроля местоположения заглубленных трубопроводов: автореф. дис…. канд. техн. наук. Казань, 2017. 22 с.
2. Гапоненко С.О. Модельная установка для разработки способа определения местоположения скрытых трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 7–8. С. 123–129.
3. Гапоненко С.О. Варианты регистрации и анализа полезного виброакустического сигнала в программном продукте LabVIEW // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014. № 5 (44). С. 8–15.
4. Гапоненко С.О. Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. № 2 (47). С. 9–13.
5. Гапоненко С.О. Измерительно–диагностический комплекс для определения расположения скрытых трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 3–4. С. 138–141.
6. Гапоненко С.О. Определение информативных частотных диапазонов для контроля местоположения заглубленных трубопроводов // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 68–71.
7. Гапоненко С.О. Методика поиска скрытых полых объектов в грунте // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2–4. С. 115–118.
8. Gaponenko S.O., Kondratiev A.E. Device for calibration of piezoelectric sensors // Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering. Pp. 146–150.
9. Gaponenko S.O., Kondratiev A.E., Zagretdinov A.R. Low-frequency vibro-acoustic method of determination of the location of the hidden canals and

pipelines // Procedia Engineering. International Conference on Industrial Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 2321–2326.

10. Nazarychev S.A., Gaponenko S.O., Kondratiev A.E. Determination of informative requency ranges for buried pipeline location control // Helix. 2018. Vol. 8 (1). Pp. 2481–2487.

УДК 65.01

СТУДЕНТЫ. ПРОЕКТЫ. ВОЗМОЖНОСТИ

Е.А. Рыбкина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
fishkarea@mail.ru

Аннотация. В статье описывается проектно-ориентированная образовательная деятельность в высших учебных заведениях как тренд развития. Рассматривается два вида деятельности в системе образования: процессная и проектная. Возможности, раскрываемые перед студентами, вовлечёнными в проектную деятельность, интерпретируются через взаимосвязь студента и инициируемые им проекты или проекты, в которые он вовлечён.

Ключевые слова: проекты, проектная деятельность, управление проектами, конкурсы, гранты.

Система высшего образования сегодня претерпевает качественные изменения. С одной стороны, оно всё больше погружается в цифровую (электронную) среду, отдаляясь от очного общения со студентами. С другой – оно расширяет границы возможностей обучающихся, наделяя их ответственностью за своё профессиональное будущее и самостоятельностью в выборе траектории развития собственного будущего.

Современная система образования даёт право (возможность) выбора студенту:

– с одной стороны – находиться в классическом образовательном процессе высшего образовательного учреждения (ВУЗ), выполняя минимально необходимые требования федеральных государственных образовательных стандартов;

– с другой – инициировать проекты, включаться в состав проектных команд и/или создавать команды под своим руководством, руководить проектами, участвовать в технологических конкурсах, развивать предпринимательский талант. Иначе говоря, включаться в проектную деятельность, позволяющую максимально эффективно реализовать свои профессиональные и личностные компетенции на практике.

Существует два вида деятельности: процессный и проектный. Первый предельно понятен, правила формализованы, процессы чётко

запрограммированы, риски минимальны, а результаты очевидны. Второй же абсолютно непонятен на старте, правила подвержены изменениям и корректировкам в процессе реализации проекта (актуализируются в соответствии с меняющимися условиями среды), риски велики, результат неочевиден. Более того, у проекта возможен отрицательный результат, когда гипотеза опровергается.

Однозначно можно заключить, что проектная деятельность весьма трудоёмка. Тогда почему федеральные ВУЗы в настоящее время отдают предпочтение проектной деятельности? Чем она так влечёт студентов, выбирающих данный вид деятельности приоритетным для своего профессионального развития? Разумеется, возможностями, которые открывают полученные в процессе выполнения проекта [1, с. 37] навыки, неформальными коммуникациями с региональными и федеральными экспертами (потенциальными работодателями), «социальным лифтом», возможно более щадящим опытом технологического или социального предпринимательства через поддержку региональных и федеральных грантообразующих и/или акселерационных компаний и, конечно же, синергетическим эффектом, позволяющим за стандартный период обучения в ВУЗе достичь более значимых успехов.

Возможности дают право:

– доминировать в конкурентной борьбе на рынке труда с обучающимися ВУЗов, выбравшими более простой, процессный вид образовательной деятельности, по окончании обучения в ВУЗе;

– претендовать на дополнительные стипендиальные программы (стипендия Президента РФ, стипендия Президента РТ, стипендия Владимира Потанина, стипендия мэра, стипендии имени В.И. Вернадского, стипендии имени М.В. Остроградского, стипендия палаты депутатов Берлина и др.) и молодёжные премии во время обучения, а главное, иметь все шансы быть выбранным конкурсной комиссией;

– развиваться в предпринимательской среде.

В качестве инфраструктуры инициации и поддержки проектной деятельности через научную и творческую активность студентов в ВУЗе выступают такие структурные подразделения, как Центры проектной деятельности, Проектные офисы, Центры управления проектными разработками, бизнес-инкубаторы, технопарки и др.

Основным методом, позволяющим увлечь студентов саморазвитием через развитие критического мышления, является известный ещё с начала прошлого столетия, но так актуальный в образовании в настоящее время, «метод проектов». В его основу положены прагматические идеи американского философа и педагога Д. Дьюи. По его мнению, мышление

начинается там, где есть проблемная ситуация [2]. Эта формула легла в основу проблемного обучения в XX в. Полноценное обучение возможно лишь посредством организации его деятельности по решению познавательных проблем, в неразрывной связи с развитием самостоятельного критического и творческого мышления.

Продолжатель школы Д. Дьюи – американский педагог У.Х. Килпатрик – разработал основы теории метода проектов, согласно которому обучение осуществляется через организацию целевых актов. Образовательные ситуации должны заключать в себе проблемы, стимулирующие мыслительный процесс и ориентирующие на активную познавательную деятельность. При этом проблемы должны быть, с одной стороны, достаточно сложными и провоцирующими мышление, а с другой – не являться настолько трудными, чтобы быть разрешимыми для обучаемого [3, с. 139].

Таким образом, реализация образовательного процесса через проектную деятельность, основанную на методе проектов, даёт возможность ВУЗу рассматривать образовательный процесс с позиции теории управления проектами [1, с. 37–38] с использованием типовых процессов, областей знаний, а также технологий и средств управления проектами. Следовательно, выпускать не массовых бакалавров/магистров, а создавать «штучный товар» в виде уникальных специалистов. Самим же студентам, планирующим траекторию своего профессионального развития через включение в проектную деятельность и активно участвующим в ней, гарантирует:

– во-первых, формирование ключевых компетенций в области управления проектами не в теории, а на практике, что минимизирует необходимость в дополнительном послевузовском образовании в данной области;

– во-вторых, быстрое включение студента в непрерывную систему исследовательской деятельности, способствующей формированию критического мышления, а также навыков саморазвития и совершенствования через самодисциплину.

Итак, актуальное высшее образование имеет персонифицированную (личностную) ориентацию. Оно не только предоставляет возможности, создавая благоприятные условия для эффективной творческой самореализации студентов через построение индивидуальных образовательных траекторий, но и наделяет персональной ответственностью за объём и качество освоения компетенций сверх минимального, определённого федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования, уровня. Выбор за Вами!

Источники

1. Рыбкина Е.А., Гильмутдинов С.Р. Управление проектами: область, методология, система // Вестник экономики, права и социологии. 2014. № 1. С. 36–39.
2. Дьюи Д. Психология и педагогика мышления / Пер. с англ. Н.М. Никольской. М.: Совершенство, 1997. 208 с.
3. Наумов В.Н. Технология управления проектным обучением на примере обучения студентов моделированию систем // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2013. № 2. С. 138–155.

УДК 331.5:004

ТРАНСФОРМАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОНОМИКЕ И ОТРАСЛЕВЫХ РЫНКАХ ТРУДА, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ РАЗВИТИЕМ IT-ТЕХНОЛОГИЙ

А.М. Саматова[1], П.В. Грачёв[2]
[1,2] АНО ВО «Университет Иннополис», г. Иннополис
[1]a.samatova@innopolis.ru, [2]p.grachev@innopolis.ru

Аннотация. Информационные технологии (ИТ) определяют статус мировой экономики, являясь ключевым фактором развития, влияющим на конкурентоспособность. Развитие экспорта, проникновение и захват новых рынков информационных технологий являются приоритетными задачами внешнеэкономической и торговой политики многих стран мира. Существенным фактором в успешности данной деятельности является имеющийся в стране кадровый потенциал и реализуемые меры его развития.

Ключевые слова: информационные технологии, трансформация, цифровая трансформация, рынок труда, кадровая политика, ИТ-технологии.

Происходящие за последние 20 лет изменения в мире показывают, что одними из основных точек роста, задающих общий социально-экономический и технологический вектор во многих странах, стали информационные технологии. Анализируя данные, можно говорить о том, что так называемая «цифровая революция» в настоящее время находится на своем пике. Именно информационные технологии постепенно становятся основным фактором укрепления взаимодействия и взаимосвязи производительности труда, объемов производства, занятости и инвестиций. К примеру, в 2017 году к интернету был подключен каждый второй житель Земли. Практика подтверждает, что распространение услуг в сети создает новые рабочие места. В США вклад информационно-коммуникационных технологий во внутренний валовый продукт (ВВП)

удвоился, что создало 4–5 млн рабочих мест, только в сети интернет их образовалось около 0,5 млн.

По прогнозам Глобального института McKinsey в ближайшие 20 лет до 50 % рабочих операций в мире могут быть автоматизированы. Фактически по размерам прогнозируемых изменений процесс массовой цифровой трансформации можно сопоставить с промышленной революцией XVIII–XIX веков, с той лишь разницей, что процесс преобразований будет происходить существенно быстрее.

Рынок ИТ в последние десятилетия характеризуется рекордно высокими темпами роста. Мировой экспорт информационно-компьютерных технологий (ИКТ), товаров и услуг увеличился в три раза за период с 1996 по 2010 гг. и достиг 1,4 трлн долл. США, то есть 9,5 % товарооборота мировой торговли. В 2018 году, по оценкам Gartner, рынок ИТ составил 3,7 трлн долл. США, что на 4,5 % больше, чем в 2017 году [1]. Прогноз на 2019 год – 3,8 трлн долл. США и увеличение на 3,2 %. Планируется, что в 2022 году глобальные ИТ-расходы превысят 4,5 трлн долл. США, а самый высокий рост покажут сервисы и программное обеспечение, имеющие отношение к так называемой третьей платформе (облачные вычисления, мобильные технологии, большие данные, аналитика и социальные сервисы).

ИТ являются также одними из самых динамично растущих секторов и в экономике России. В 2015 году на фоне общего падения ВВП страны на 3 % ИТ-отрасль показывала большой и стабильный темп прироста добавленной стоимости на 28 % [2]. По оценке Российской ассоциации электронных коммуникаций (РАЭК) растет и доля интернет-экономики в ВВП страны. На сегодняшний день она составляет 2,42 %, а мобильной экономики – 3,8 %. Мобильная экономика является одиннадцатой по размеру экономической активности в России, конкурируя по этому показателю со сферой сельского хозяйства. Российские пользователи потратили около 500 млн. долл. США на мобильные приложения в 2017 году. Россия вошла в Топ-5 стран по количеству загрузок приложений, уступив Китаю, Индии, США и Бразилии. По оценкам РАЭК вклад мобильной экономики России в ближайшие пять лет будет расти в среднем на 10,7 % в год. Доказательством возрастающей значимости мобильного сегмента является заметный рост аудитории мобильного интернета, которая впервые в 2017 году превысила число пользователей десктопов – 70 млн человек (57 % населения). По количеству пользователей интернета Россия занимает первое место в Европе и шестое – в мире. Сейчас аудитория рунета достигает 87,7 млн человек (71 % населения), а к 2020 году доступ в интернет будут иметь до 85 % россиян.

К 2021 году доля «чистой» цифровой экономики в России может вырасти до 4,7 % ВВП. По мнению экспертов агентства McKinsey, потенциальный экономический эффект от цифровизации экономики России увеличит ВВП страны к 2025 году на 4,1–8,9 трлн руб. (в ценах 2015 года), что составит от 19 до 34 % общего ожидаемого роста ВВП. Такие оптимистичные экономические прогнозы связаны не только с эффектом от автоматизации существующих процессов, но и с внедрением принципиально новых, прорывных бизнес-моделей и технологий. Среди них – цифровые платформы, цифровые экосистемы, углубленная аналитика больших массивов данных, технологии «Индустрии 4.0», такие как 3D-печать, роботизация, интернет вещей. По своей сути бурный рост ИТ и, как следствие, необратимость цифровой трансформации, являясь, с одной стороны, большим вызовом обществу, населению и рынку труда, в это же самое время, с другой стороны, являются уникальным шансом для компаний, организаций, регионов и стран, грамотно воспользовавшись которым они могут добиться впечатляющих темпов экономического роста и стать лидерами отрасли и мировой экономики. То есть фактически имеется возможность повторить процессы, которые происходили во время Промышленной революции, в том числе в вопросах занятости населения. Говоря о рынке труда, нельзя не отметить то, какое влияние на него оказывают современные ИТ. Последние 10 лет ИТ-сфера в России развивалась стремительно и скачкообразно: бурно и динамично развивались компании, росли зарплаты ИТ-сектора, появлялись новые профессии, в то время как другие трансформировались, теряли свою востребованность, исчезали. К примеру, если в 2004 году на портале hh.ru в России было опубликовано порядка 12 000 вакансий в ИТ-профессиональной области, то по итогам 2013 года этот показатель превысил 213 500. За последние 10 лет рынок труда в ИТ-сфере вырос в 18 раз.

Существенным образом изменились требования к ИТ-специалистам. Стандартных технических ИТ-навыков работодателю уже недостаточно, все чаще к соискателям предъявляются требования по личным качествам и наличию, так называемых, «гибких» компетенций (soft-skills). Запрос у работодателей на наличие у сотрудников soft-skills компетенций также подтверждается авторитетными международными научными центрами. Согласно исследованиям Гарвардского университета, наличие гибких навыков определяет профессиональную успешность сотрудника на 85 %, в то время как профессиональные навыки, или hard-skills, – лишь на 15 % [3]. Результаты другого исследования, проведенного Стэнфордским исследовательским институтом совместно с Фондом Карнеги среди

генеральных директоров компаний из списка «Fortune 500», показали, что их долговременный и стабильный успех в работе на 75 % определяется soft-skills и только на 25 % – hard-skills [4].

Динамику изменений рынка труда также отражает наличие новых профессий в ИТ-сфере. За последние 7–8 лет появилось 23 новые позиции. Так, например, в 2006 году в первый раз появились позиции Python-программист, Lisp-программист, GUI-дизайнер. В 2007 году в России потребовались первые разработчики для телефонов Blackberry, в 2008 – iPhone, в 2009 – Android. 2009 год характеризуется бурным спросом на специалистов по тестированию мобильных приложений, а в 2010 году появляются первые позиции Data-специалистов, SMM-менеджеров и UX-дизайнеров. Самыми новыми профессиями, вакансии которых появились на сайте hh.ru только в 2011 году, оказались Haskell-программист, программист мобильных игр, email-маркетолог, менеджер мобильных приложений и IT-евангелист. При этом также стоит отметить, что уже сейчас постепенно теряют свою популярность разработчики под Blackberry и разработчики под Symbian OS, количество вакансий для них сокращается. И, напротив, набирают популярность разработчики под Windows, iOS и Android.

Важно отметить, что именно «кадровая» проблема является одной из наиболее актуальных для отечественной ИТ-отрасли, сдерживающих ее развитие. По данным РАЭК только в непосредственно самой ИТ-индустрии дефицит «технических» кадров составляет около 400 тыс. специалистов. Анализ объемов подготовки кадров в сфере информационных технологий в рамках высшего и среднего профессионального образования в целом по стране показывает невозможность удовлетворения дефицита только путем обучения «новых кадров», пришедших из школы, даже в перспективе ближайших десяти-пятнадцати лет, при условии, что спрос на них не будет расти. Изменения ситуации с острой нехваткой высококвалифицированных кадров в сфере ИКТ коренным образом можно достичь только в рамках реализации государственной политики по переобучению высвобождающихся трудовых ресурсов из других профессиональных областей (в частности, в связи с внедрением ИТ и автоматизации бизнес-процессов, не требующих человеческого участия), тем самым параллельно решая вопросы профессионального развития кадров, трудовой миграции и профилактики безработицы.

Следует учитывать также тот факт, что интенсивное развитие информационных технологий и внедрение их в основные бизнес-процессы компаний и организаций накладывают существенные требования

к тотальному переобучению и повышению квалификации у «нетехнических» специалистов, то есть у тех, кому предстоит непосредственно взаимодействовать с ИТ-инфраструктурой и ее сервисами. Отдельно необходимо выделить вопросы, связанные с приобретением соответствующих сквозных «цифровых» компетенций будущими студентами ВУЗов и ССУЗов, причем вне зависимости от приобретаемых ими профессий и квалификаций. Возможным решением данного вопроса может быть включение во все образовательные программы цикла курсов, связанных с приращением у будущих выпускников так называемых digital skills — компетенций, необходимых каждому индивиду для успешного личностного и профессионального взаимодействия в современном мире.

Источники

1. Garfinkel J. Gartner Says Global IT Spending to Grow 3.2 Percent in 2019. URL: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-10-17-gartner-says-global-it-spending-to-grow-3-2-percent-in-2019 (дата обращения: 11.04.2019).
2. Абдрахманова Г.И., Ковалева Г.Г. Развитие отрасли информационных технологий за последние 10 лет // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». URL: https://www.hse.ru/monitoring/intel/news/225329123.html (дата обращения: 11.04.2019).
3. The Soft Skills Disconnect // National Soft Skills Association. URL: https://www.nationalsoftskills.org/the-soft-skills-disconnect (дата обращения: 11.04.2019).
4. Spar B., Dye C. Workplace Learning Report: The Rise and Responsibility of Talent Development in the New Labor Market / Ed. by R. Lefkowitz, D. Pate. URL: https://learning.linkedin.com/resources/workplace-learning-report-2018 (дата обращения: 11.04.2019).

Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

УДК 621.314

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

В.А. Анисимов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
vlad.extazy@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Д.М. Валиуллина

Аннотация. Последнее десятилетие характеризуется низким уровнем инвестиций в техническое перевооружение электрических станций и сетей. Спад промышленного производства привел к резкому росту изношенного энергетического оборудования. На многих промышленных предприятиях средний срок службы электрооборудования превышает 30 лет, и более 80 % оборудования выработало свой физический ресурс. При этом наблюдается устойчивая тенденция ежегодного роста на 0,4–0,7 % количества технологических нарушений и аварий, большинство из которых приходится на маслонаполненное оборудование и, в первую очередь, силовые трансформаторы.

Ключевые слова: силовой трансформатор, маслонаполненное оборудование, трансформаторное масло, качество трансформаторного масла, корреляционный анализ, диагностика.

Надежность электроснабжения потребителей во многом зависит от безаварийной работы силового масляного трансформатора. В обеспечении надежной работы трансформатора одну из главных ролей играет состояние бумажной изоляции, которая находится в постоянном взаимодействии с маслом. Несомненно, качество трансформаторного масла оказывает влияние как на состояние твердой изоляции, так и на сам трансформатор. Вследствие чего, важно понимать, как и какие показатели оказывают влияние на техническое состояние масла.

Корреляционный анализ результатов диагностики масел, собранных с трансформаторов различного года выпуска и мощности, дает наглядное представление о связях между качеством масла и содержащихся в нем примесей и газов.

Для анализа были выбраны трансформаторы мощностью от 10000 до 63000 кВА, с 1976 по 2009 годов выпуска и напряжением 110 кВ. В качестве показателей состояния масла рассматривалось содержание различных газов (H_2, O_2, N_2, CO, CO_2, CH_4, C_2H_4, C_2H_6, C_2H_2) и других примесей.

В ходе анализа не выявлено значимой связи между растворенными в масле газами и сроком службы трансформатора, кроме ацетилена.

В большинстве трансформаторов, срок службы которых превышает 30 лет, выявлено несоответствие нормам концентрации данного газа в масле. Выявлено также практически полное отсутствие связи между влагосодержанием и содержанием в масле газов. Также для трансформаторов с большим сроком службы выявлено несоответствие по таким показателям, как класс частоты и содержание водорастворимых кислот и щелочей.

Полученные результаты позволяют оптимизировать математические модели принятия решений при оценке состояния масел за счет учета наличия связей между показателями. Выявленные связи позволяют синтезировать оптимальные модели для прогнозирования значений показателей качества масла, следовательно, и его остаточного ресурса.

Источники

1. Чупак Т.М., Южанников А.Ю. Оценка состояния трансформатора на основе золотого сечения // Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 81–82.
2. Альмухаметов И.И., Давиденко И.В. Исследование взаимного влияния параметров трансформаторного масла // Труды первой научно-технической конференции молодых ученых уральского энергетического института: матер. конф. / отв. ред. А.В. Костылев. Екатеринбург, 2016. С. 167–170.
3. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. № 2. С. 27–31.
4. Высокогорец С.П. Разработка новых методов и алгоритма оценки качества эксплуатационных масел силовых трансформаторов напряжением 35–110 Кв: автореф. дис. … канд. техн. наук. СПб., 2012. 17 с.

УДК 621.314.213.1

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

О.С. Атрашенко
КТИ (филиал) ВолгГТУ, г. Камышин
olgapasmenko@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук В.С. Галущак

Аннотация. В статье представлены основные направления модернизации конструкции силовых трансформаторов, сочетающей в себе применение аморфный

сплав для производства магнитопровода, и материалов, обладающих ВТСП-эффектом для изготовления обмоток. Приведены основные технические характеристики инновационных трансформаторов. Выполнено моделирования аварийного режима с трансформаторами традиционного типа и энергоэффективных и сравнение токов короткого замыкания.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, аморфные высокотемпературные сверхпроводниковые трансформаторы, токи короткого замыкания.

Проблема снижения суммарных потерь электрической мощности и энергии в электроэнергетике всегда была и есть в центре внимания эксплуатации, научных исследований, проектирования и конструирования новых электроустановок и процессов, можно констатировать ее непреходящую актуальность и необходимость поиска новых решений.

В современных условиях потери электроэнергии и мощности можно существенно снизить применением в конструкциях силовых трансформаторов (СТ) инновационных решений.

Свойства высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалов позволяют получить трансформатор, значительно превосходящий по всем своим характеристикам традиционно применяемые на сегодняшний день масляные и сухие трансформаторы.

Особенностью работ в области ВТСП устройств явилась большая доступность создания и испытания небольших моделей трансформаторов по сравнению с НТСП устройствами, поскольку работа с жидким азотом проще, чем с жидким гелием, и он значительно дешевле. В настоящее время существуют три основных проекта по созданию ВТСП-трансформаторов: в Европе, США и Японии. Работа над ними началась примерно в одно и то же время, и в 1997 году все три были реализованы в опытных образцах. Модели ВТСП устройств представлены на рис. 1 и 2.

Главной конструктивной особенностью трансформаторов аморфных трансформаторов является магнитопровод (сердечник), выполненный из особого металла – аморфной стали. Данный материал имеет очень низкие потери. Если шихтовка магнитопровода методом step-lap позволяют снизить потери холостого хода (P_{XX}) на 20–30 %, то применение аморфной стали для изготовления такого же магнитопровода дает возможность снизить потери холостого хода еще на 75 %.

Аморфный сплав, также известный как металлическое стекло, имеет некристаллическую, беспорядочную структуру. В его состав входят в основном железо, никель, кобальт, хром и марганец, и некоторые другие металлы (75–85 %) с добавлением небольшого количества металлоидов (15–20 %): бора, углерода, кремния и фосфора.

Рис. 1. ВТСП – трансформатор производства ABB (630 кВА)

Рис. 2. Трансформатор 500 кВА 6600/3300 В производства Fuji Electric

Рис. 3. Внешний вид и конструкция «аморфного» трансформатора

Аморфная сталь производится в виде ленты. Освоенный на сегодняшний день технологический процесс производства аморфных сплавов за рубежом позволяет изготавливать его в виде ленты шириной до 220 мм и толщиной от 0,016 до 0,035 мм, что позволяет изготавливать

качественные магнитопроводы для трансформаторов. В России при такой же толщине ленты ее ширина составляет на данный момент до 80 мм, что затрудняет производство трансформаторов с аморфными сердечниками в промышленных масштабах.

Внешний вид «аморфного» трансформатора приведены на рис. 3.

Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами: так, у японской фирмы Hitachi эта разница составляет 15–20 %, у российской же фирмы «Трансформер» разница в цене между традиционными и аморфными трансформаторами достигает 30–35 %.

Внедрение новых эффективных способов формирования основного магнитного потока СТ с помощью аморфных ферромагнитных материалов (АФМ) и перспективных бессердечниковых конструкций СТ позволяет значительно (в 5–6 раз) снизить потери холостого хода трансформатора [1, 2].

Используется комбинированная конструкция, сочетающая в себе применение АФМ для производства магнитопровода, и материалы, обладающих ВТСП-эффектом для изготовления обмоток СТ [3].

Таблица 1

Характеристики силовых трансформаторов

Тип трансформатора	$U_{ВН}$, кВ	$\Delta U_{КЗ}$, %	$I_{ХХ}$, %	$\Delta Q_{КЗ}$, вар	$\Delta P_{КЗ}$, Вт	$\Delta Q_{ХХ}$, вар	$\Delta P_{ХХ}$, Вт	$S_{НОМ}$, кВА
ТМ-400/10	10	4,5	1,8	18000	5500	4000	900	400
АВТСТ-400/10	10	1,75	0,18	7317,07	2235,7	223,4	174,7	400
ТМ-400/20	20	5,36	1,63	19368,0	6127,0	4456,0	928,5	400
АВТСТ-400/20	20	2,08	0,16	14774,3	2490,6	248,9	180,2	400

Таблица 2

Сопротивлений трансформаторов

Тип трансформатора	$z_{тр}$	$r_{тр}$	$x_{тр}$
ТМ-400/10	12,4	3,7	11,8
АВТСТ-400/10	4,8	1,5	4,6
ТМ-400/20	53,6	15,3	51,4
АВТСТ-400/20	20,8	6,2	19,8

В табл. 1, 2 приведены значения характеристик для традиционных силовых трансформаторов (ТСТ) с магнитопроводом из электротехнической трансформаторной стали SiFe и аморфных высокотемпературных сверхпроводниковых трансформаторов (АВТСТ),

магнитопровод которых изготавливается из АФМ, а обмотки выполнены из материалов, обладающих ВТСП эффектом при напряжении 10, 20 кВ.

Активное, реактивное и полное сопротивление АВТСТ значительно меньше сопротивления традиционного трансформатора марки ТМ.

Эффективность внедрения инновационных трансформаторов оценивается не только характеристиками в нормальном режиме работы системы, но и оценкой токов короткого замыкания на участке сети, на котором установлены трансформаторы.

Было выполнено моделирование аварийного режима с расчетами токов КЗ на участке сети при напряжении 10 и 20 кВ (рис. 4).

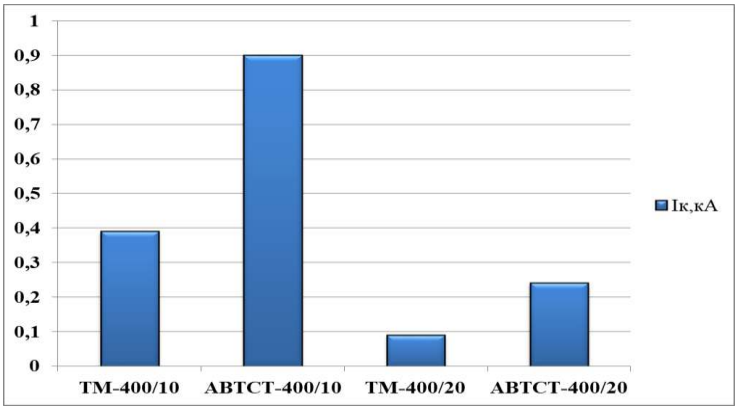


Рис. 4. Результаты расчета токов КЗ на шинах 0,4 кВ ТП

При первичном напряжении 20 кВ на шинах трансформаторов 0,4 кВ токи КЗ значительно меньше, чем при напряжении 10 кВ, у обоих типов трансформаторов. Сравнивая значения токов КЗ между трансформаторами, можно констатировать, что у АВТСТ, при одинаковых условиях работы, значения токов КЗ почти в 2,5 раза больше, чем у трансформатора с традиционной конструкцией.

Источники

1. Инаходова Л.М., Казанцев А.А. Обоснование преимуществ трансформаторов инновационной конструкции // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2015. № 3. С. 29–35.

2. Александров Н.В. Исследование влияния сверхпроводниковых трансформаторов на режимы электроэнергетических систем: автореф. дисс. … канд. техн. наук. Новосибирск, 2014. 22 с.

3. Использование трансформаторов с магнитопроводом из амфотерных сплавов / М.В. Охотников [и др.] // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 1 (23). С. 88–95.

УДК 621.311

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Р.Р. Баязитов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
el.pierce.jared.JP@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук О.В. Наумов

Аннотация. Надежное, бесперебойное и качественное электроснабжение потребителей является приоритетами работы электроэнергетических компаний. Для достижения этих целей происходит внедрение системы автоматизированного восстановления распределительных сетей (далее САВС).

С помощью САВС сеть способна сама определить поврежденный участок, обесточить его для проведения восстановительного ремонта и автоматически запитать потребителей. Автоматизация сети осуществляется с помощью контроллеров. Затем производится секционирование поврежденного участка сети и подается команда на повторное включение выключателя центра питания. Параллельно подается команда на включение выключателя второго центра питания для подачи напряжения по тому же самому лучу, с другой стороны. Это делается для запитывания обесточенного участка сети, находящегося за границей токораздела. Все эти операции происходят не более двух минут, в то время как работа по восстановлению электроснабжения при подобных авариях составляет в среднем чуть более часа.

Такую архитектуру сети планируется внедрить на всех участках распределительных сетей, что позволит значительно снизить время аварийных отключений и повысить надежность электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: качественное электроснабжение, система автоматизированного восстановления сети, поврежденный участок сети.

САВС строится как единая, интегрированная, иерархическая, распределенная система, работающая в масштабе реального времени, оснащенная средствами управления, сбора, обработки, регистрации, хранения и передачи информации.

В контроллерах, с помощью которых происходит автоматизация сети, закладываются алгоритмы восстановления сети, описывающие все возможные аварийные ситуации. Эти контроллеры определяют поврежденный участок сети при возникновении короткого замыкания, после чего происходит отключение головного выключателя, установленного в центре питания. Секционирование поврежденного участка сети производится при помощи отключения двух ближайших к месту повреждения выключателей нагрузки.

САВС на базе программно-технического комплекса (ПТК) ARIS MC предназначена для:

– контроля состояния сети электроснабжения;

– выявления возникновения МФЗ;

– выявления возникновения однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) (дуговых прерывистых, устойчивых, перемежающихся) в различных режимах работы нейтрали, в том числе: изолированном, эффективно-заземленном, компенсированном;

– локализации поврежденного участка сети электроснабжения в автоматическом и ручном режимах;

– восстановления электроснабжения отключенных вследствие аварии потребителей в автоматическом и ручном режимах;

– контроля режима работы и управления вспомогательным оборудованием энергообъектов;

– обеспечения вышестоящих уровней систем управления оперативной и достоверной информацией;

– предоставления оперативному персоналу достоверной информации о ходе технологического процесса, состоянии оборудования, в том числе с применением алгоритмов системы помощи в принятии решений;

– повышение уровня информационной и общей безопасности.

САВС на базе ПТК ARIS MC выполняет следующие функции:

– сбор значений аналоговых и дискретных параметров;

– определение положения КА по параметрам режима;

– выявление нарушения радиальности контролируемой части сети;

– выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы КА аппаратов для локализации поврежденного участка сети в ручном и автоматическом режиме;

– выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы КА аппаратов для восстановления электроснабжения со стороны центра питания в ручном и автоматическом режиме;

– вычисление оптимального пути восстановления электроснабжения с учетом заданных критериев;

– выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы КА аппаратов для восстановления электроснабжения с выключателя/выключателей потокораздела в ручном и автоматическом режиме;

– поэтапный контроль выполнения команд управления;

– контроль функционирования ПТК в целом, в том числе контроль работы контроллером с детализацией до каждого модуля;

– синхронизация времени устройств ПТК;

– архивирование и хранение информации;

– АВР, ВНР на ТП;

– запись осциллограмм авариных процессов в контролируемой зоне и вне ее с автоматической выгрузкой осциллограмм на сервер хранения данных;

– предоставление данных о текущем режиме работы системы в реальном времени на в SCADA систему;

– предоставление информации о необходимых переключениях в ручном режиме работы (Система помощи в принятии решений диспетчера);

– оперативного управления режимом работы системы с использованием логических ключей на АРМ пользователя/администратора;

– тренажера диспетчера для подготовки и контроля работы системы диспетчерским персоналом;

– запись журналов работы системы на уровне SCADA системы;

– запись LOG файлов и журналов событий на контроллерах ПКТ ARIS MC.

Источники

1. Система автоматического восстановления электроснабжения (САВС) сетей 6 кВ, 10 кВ, 20 кВ (FLISR/FDIR) на базе ARIS MC // ООО «Прософт – системы»: офиц. сайт. URL: https://www.prosoftsystems.ru/solution/show/sistema-avtomaticheskogo-vosstanovlenija-jelektrosnabzhenija-savs-setej-6-kv-10-kv-20-kv-flisr-fdir-na-baze-aris-mc (дата обращения: 10.09.2018).

УДК 621.311.1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ДОЗЫ ФЛИКЕРА И ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

А.С. Белоусова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
geleys71@gmail.com
Науч. рук. д-р техн. наук М.Ш. Гарифуллин

Аннотация. В настоящее время наблюдается увеличение объема потребителей с резкопеременной нагрузкой, из-за которых возникает фликер – мерцание ламп. Длительное воздействие фликера негативно сказывается на здоровье людей: утомляемость, головные боли, снижается внимание, что может привести к браку продукции и травматизму на производстве. Отсутствие методики, позволяющей

рассчитать дозу фликера и определить наиболее эффективный метод уменьшения колебаний напряжения, обуславливает актуальность вопроса на сегодняшний день.

Ключевые слова: доза фликера, колебания напряжения, показатели качества электроэнергии, нормы, электромагнитная совместимость, резкопеременная нагрузка.

С развитием промышленности увеличивается объем потребителей с резкопеременной нагрузкой, влияющих на возникновение в электрической сети колебаний напряжения, которые вызывают мерцание ламп, подключенных к данной сети – это явление называется фликером. Длительное воздействие фликера негативно сказывается на здоровье людей – возникает утомляемость, головные боли, снижается внимание, что может привести к браку продукции и травматизму на производстве. Поэтому вопрос о методах уменьшения фликера и улучшениях качества электроэнергии является актуальным на сегодняшний день.

Проблема электромагнитной совместимости промышленных электроприемников с питающей сетью остро возникла в связи с широким использованием мощных вентильных преобразователей, дуговых сталеплавильных печей, сварочных установок, которые при всей своей экономичности и технологической эффективности оказывают отрицательное влияние на качество электроэнергии.

Бытовые электроприемники, как и промышленные, также должны иметь электромагнитную совместимость с другими электропримниками, включенными в общую электросеть, не снижать эффективность их работы и не ухудшать показателей качества электроэнергии [4].

Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости и определяется совокупностью характеристик. Колебания напряжения являются одним из показателей качества электрической энергии. Они вызываются потребителями электроэнергии, имеющими электрическую нагрузку резкопеременного характера. В 2015 году в действие введен новый стандарт ГОСТ 32144-2013, в котором колебания напряжения характеризуются только одним показателем – дозой фликера.

Согласно ГОСТ 32144-2013 показателями качества электроэнергии, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера Pst, измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера Pit, измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии [1].

Для указанных показателей качества электроэнергии установлены следующие нормы: кратковременная доза фликера Pst не должна превышать значения 1,38; длительная доза фликера Pit не должна превышать значения 1,0 в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Для определения значения дозы фликера могут быть использованы два подхода:

1) применение фликерметра для непосредственного измерения интенсивности фликера в течение 10 мин. На основании этих измерений определяются кратковременные Pst и длительные Plt дозы фликера, которые затем сравниваются с допустимыми значениями. Использование данного метода невозможно на стадии проектирования;

2) применение расчетных методик. Они применимы как в проектной, так и в эксплуатационной практике.

Проанализировав существующие методики вычисления дозы фликера, выявлено, что они сложны для применения в некоторых конкретных случаях и не всегда позволяют сделать расчеты на этапе проектирования. Можно сказать, что наиболее подходящим способом для вычисления дозы фликера является компьютерное моделирование, позволяющее автоматизировать и ускорить процесс расчетов, а также проводить оценку фликера как в процессе эксплуатации, так и на этапе проектирования электрической сети [3].

После расчетов разрабатывают мероприятия по нормализации фликера. Нормализация должна выполняться одним из следующих способов:

– замена источников света на менее чувствительные к колебаниям напряжения в электрической сети лампы;

– снижение колебаний напряжения в электрической сети [2].

Чтобы уменьшить колебания напряжения, чаще всего используют следующие мероприятия:

1) применение оборудования с улучшенными характеристиками. Применение электродвигателей со сниженным пусковым током и улучшенным $\cos\varphi$ при пуске. Применение частотного регулирования электроприводов или устройств плавного пуска-останова двигателя;

2) подключение к мощной системе электроснабжения. Распространение колебаний напряжения в сторону системы электроснабжения происходит с затуханием колебаний по амплитуде. Причём, коэффициент затухания тем больше, чем мощнее система электроснабжения;

3) разнесение питания спокойной и резкопеременной нагрузок на разные трансформаторы или секции сборных шин. Размах изменения напряжения δUt на шинах спокойной нагрузки снижается на 50...60 %. При этом возрастают потери при неполной загрузке трансформаторов;

4) снижение сопротивления питающего участка сети. При увеличении сечения проводников линии снижается R, а применение

устройств продольной компенсации снижает суммарное X. При этом методе увеличиваются капитальные затраты, а применение продольной компенсации опасно повышением токов короткого замыкания при $X \to 0$.

На практике активно применяют последние два мероприятия.

Целью данной работы являлась разработка методики расчета дозы фликера с использованием ПО MATLAB, которая могла бы устранить существующие недостатки и позволила бы определить наиболее эффективный и экономически целесообразный метод подавления фликера.

Источники

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2000. 252 с.
3. Калинина Е.А. Исследование электрических нагрузок фанерного производства // Фёдоровские чтения – 2015: матер. XLV Междунар. науч.-практ. конф. с элем. науч. шк. М., 2015. С. 242–244.
4. Салтыков В.А. Исследование вероятностных характеристик резкопеременных электрических нагрузок и их влияние на качество электроэнергии в сетях промышленных предприятий: автореф. дис. … канд. техн. наук. Л., 1977. 242 с.

УДК 621.315

ДИАГНОСТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТЫСКАНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНО-ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 10 кВ

В.Р. Богаткин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
bogatkin.vr@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Р.Ф. Ярыш

Аннотация. Транспортировка электроэнергии от электростанции к потребителям является одной из важнейших задач энергетики. Эффективность и надежность передачи энергии определяется состоянием сетей электроснабжения. Мониторинг воздушных ЛЭП и кабельных линий позволяет решить многие проблемы в этой области. Мониторинг способствует не только повышению надежности передачи электроэнергии, но и уменьшению трат на обслуживание линий электропередачи за

счет более оперативных и точных данных при локализации аварийных сегментов, а также предсказания проблемных ситуаций на трассе. В связи с существенным возрастанием стоимости ущерба при крупных авариях и уменьшением надежности энергосистем, вследствие сильного износа как используемого оборудования, так и проводных линий электропередач, использование перспективных систем мониторинга воздушных электросетей становится все более актуальным.

Ключевые слова: определение места повреждения, кабельно-воздушные линии, повреждения, мониторинг.

В настоящее время, помимо уже используемых кабельных линий (КЛ), а это, по данным ПАО «Россети», около 1 млн км, в эксплуатацию в промышленности, городских и сетях агропромышленного комплекса постоянно вводятся новые протяженные линии напряжением 6–10 кВ. Происходит замещение ВЛ, которые занимают большие сельскохозяйственные площади.

На сегодняшнее время используемые кабельные линии сильно изношены [1]. Износ составляет 70–80 % [2], в основном он происходит из-за сильного превышения допустимого срока эксплуатации. В среднем на каждые 100 км КЛ происходит около 10–20 аварий в год, а у ВЛ – в 1,5–2 раза больше [3].

Основные проблемы – это естественное старение, коррозия, механические повреждения, повреждение изоляции, неправильная эксплуатация или допущенные ошибки при прокладке.

Быстрое обнаружение дефекта КЛ является одним из важных правил надежного электроснабжения, так как чаще всего происходит замыкание одной жилы на землю из-за изношенной изоляции. Свойства бумажно-масляной изоляции конечно могут самоликвидировать замыкание, но при этом интервал между нарушением целостности изоляции и повреждением самого кабеля может достигнуть несколько месяцев.

Большинство используемых методов диагностики относятся к разрушающим, таким, например, как при помощи испытания повышенным напряжением промышленной частоты, определения сопротивления и электрической емкости жил, проверка температуры жил кабеля и т.д. [4]. Так как проводить проверки необходимо периодически, согласно графику, а методы разрушающие, поэтому особо остро стоит вопрос введения новых, неразрушающих методов диагностики КЛ.

Из-за большой протяженности КЛ необходимо локализовать зону повреждения. Для этого применяется специальное трассопоисковое оборудование, которое может по виду излучаемого ЭП определить вид повреждения силового кабеля [5]. Необходим постоянный мониторинг наличия дефектов, тепловизионный контроль, измерение тангенса угла диэлектрических потерь, рентгеновский метод, рефлексометрия [6].

Внедрению новых способов мешают многие факторы, например: экономические, организационные, оперативные и технические. Однако скорое решение этой проблемы позволит уменьшить количество аварий, своевременно принять решения по поводу состояния линии и, по возможности, продлить срок эксплуатации.

Усложнение КЛ промышленного назначения требует более требовательного подхода к их управлению. Сейчас идет внедрение нейронных сетей, способных к самообучению, созданию сложных алгоритмов работы, исключающий человеческий фактор ошибки, во многие сферы деятельности, и энергетика не должна оставаться в стороне. Помимо уже используемых диспетчерских пунктов с информативной SCADA системой необходимо и дополнительное повсеместное использование дополнительных информационных систем.

Благодаря этому руководители предприятий и энергетические компании смогут точнее спрогнозировать свои расходы на поддержание эффективной производственной деятельности [7].

Источники

1. Гильманов Э.А., Тлявлин А.З., Султанов А.Х. Методы диагностики кабельных линий // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. Уфа, 2008. С. 248–252.

2. Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. М.: ПАО «Россети». 2013. 196 с.

3. Султанов Г.А., Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Современные технологии проектирования систем электроснабжения // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 52. С. 224–228.

4. Шабанов В.А. Методы диагностики силовых кабелей // Электротехника. 2002. № 7. С. 51–53.

5. Устройства и методы для определения мест повреждения кабельных линий / Г.А. Султанов [и др.] // Наука XXI века: сб. науч. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. СПб. 2016. С. 86–88.

6. Лебедев Г.М. Диагностика изоляции кабельных линий 6–10 кВ методом высокочастотной рефлектометрии // Электрика. 2005. № 5. С. 39–41.

7. Сазыкина О.В., Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Использование нейронной сети в управлении производственными активами предприятия // Путь науки. 2015. № 9. С. 58–62.

8. Two-terminal Fault Location Method Based on the Lines Converted Midpoint and HHT / Y. Wang [et al.] // International Journal of Computer Science Issues. 2013. Vol. 10, Is. 1. P. 245–249.

УДК 621.311.243

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ И ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

А.Б. Бойко[1], Н.Н. Щикунов[2]
[1,2]ИСТиД (филиал) СКФУ, г. Пятигорск
[1,2]kolesnikovkmvi@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Г.Ю. Колесников

Аннотация. В данной статье изучается проблема, связанная с гололедообразованием, и борьба с этим явлением. Приводятся различные способы плавки гололеда переменным и постоянным током.

Ключевые слова: плавка гололеда, схема «Змейка», встречное включение, выделение теплоты.

Как известно, Россия содержит в своём составе обширные территории с самыми разнообразными климатическими условиями – от причерноморских субтропиков до холодного побережья Северного Ледовитого океана. Все эти территории в той или иной степени заселены людьми, для поддержания жизненной и производственной деятельности которых необходимо непрерывное снабжение электроэнергией. Однако зачастую нормальному функционированию линий электропередач препятствуют некоторые природные факторы, и один из таких факторов – образование гололёда.

Чем же опасен гололёд на проводах? Дело в том, что провод определённой марки способен выдерживать установленную механическую нагрузку. Так, алюминиево-стальной провод марки АС-185/43 имеет удельную собственную массу 846 кг/км. При наличии на нём ледяной корки толщиной 4 см эта масса способна увеличиться в 9 раз [1].

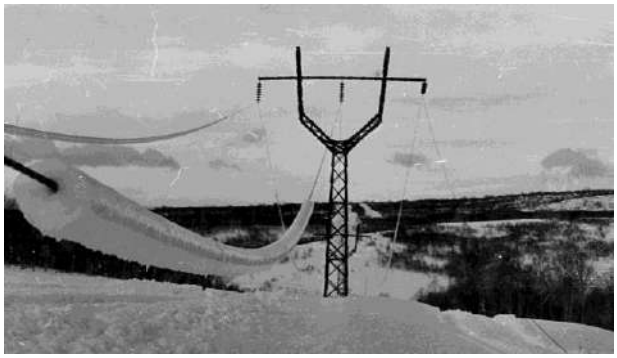


Рис. 1. Покрытые гололёдом провода ВЛ

Рис. 2. Опора ВЛ, деформированная под весом гололёдных отложений

Добавив к числу климатических факторов ещё и ветер, мы получаем в перспективе не только возможный обрыв проводов, но и повреждение

несущих опор (рис. 1, 2). Из-за этого гололёд становится причиной серьёзных аварий и перебоев в электроснабжении.

Итак, с явлением наледи на проводах необходимо бороться. Общая суть всех способов плавки гололёда довольно проста. При прохождении электрического тока через любой проводник, обладающий активным сопротивлением, по закону Джоуля-Ленца в нём выделяется активная мощность в виде теплоты.

Если через покрытый гололёдом провод пропустить ток величиной значительно выше номинального, то эта теплота постепенно приведёт к его нагреванию до температуры выше 0 °С и расплавлению на нём ледяной корки. Длительность такой плавки будет зависеть, в первую очередь, от силы тока в проводнике и его активного сопротивления, а также от изначальной температуры провода. Увеличения тока до требуемой величины можно добиться:

– перераспределением нагрузки таким образом, чтобы посредством обогреваемой линии передавалась как можно большая мощность. Этот способ в некоторых случаях может быть использован для профилактики образования гололёда;

– введением в сеть специальных перемычек, коммутируемых дополнительными выключателями и разъединителями, которые при включении образуют короткозамкнутые контура с необходимыми для плавки токами, а также введением дополнительных трансформаторов.

Включение перемычек может быть произведено несколькими способами. Первый из них – создание двух- или трёхфазного короткого замыкания (рис. 3, 4).

Второй способ – схема «змейка», в которой все три фазных провода соединяются последовательно в единый контур, замыкающийся через землю (рис. 5). Сопротивление цепи здесь будет складываться из утроенного сопротивления провода и сопротивления грунта.

Кроме того, в некоторых случаях может применяться схема встречного включения фаз, когда обогреваемая линия с одного конца подключается к зажимам фаз в порядке АВС, а на другом, соответственно, – в порядке ВСА или САВ (рис. 6).

Данная схема реализуется с помощью специального разъединителя, сдвигающего по фазе подаваемые на линию с одного конца напряжения на 120°. К каждому проводу линии оказывается приложено не фазное напряжение, как было бы при режиме трёхфазного короткого замыкания, а линейное, которое больше фазного в $\sqrt{3}$ раз, что позволяет увеличить ток плавки при неизменной длине линии на 70 %. Данная схема достаточно

эффективна в замкнутых электрических сетях. Описанные схемы при использовании переменного тока объединяет один недостаток: из-за наличия у линии индуктивного сопротивления рассеиваемая в виде теплоты на проводах активная (полезная) мощность оказывается лишь частью затрачиваемой на плавку полной электромагнитной мощности.

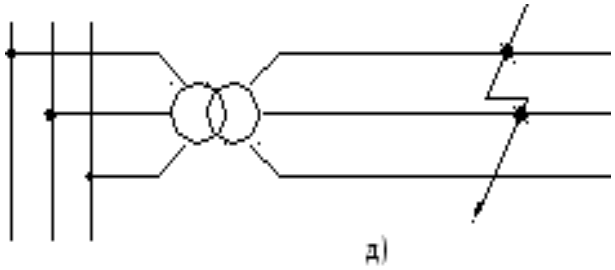


Рис. 3. Трёхфазное КЗ

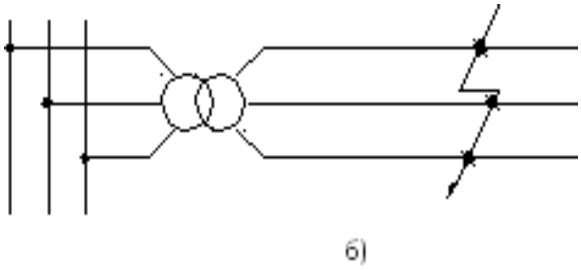


Рис. 4. Двухфазное КЗ

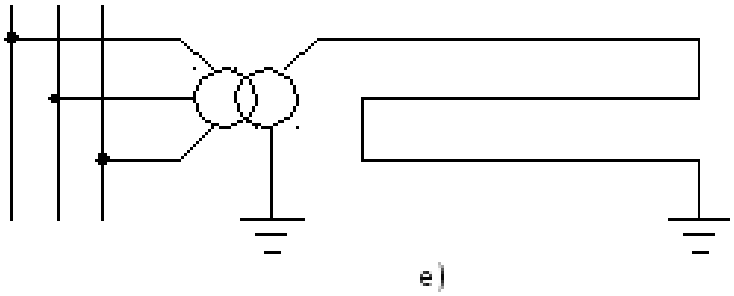


Рис. 5. Схема «змейка»

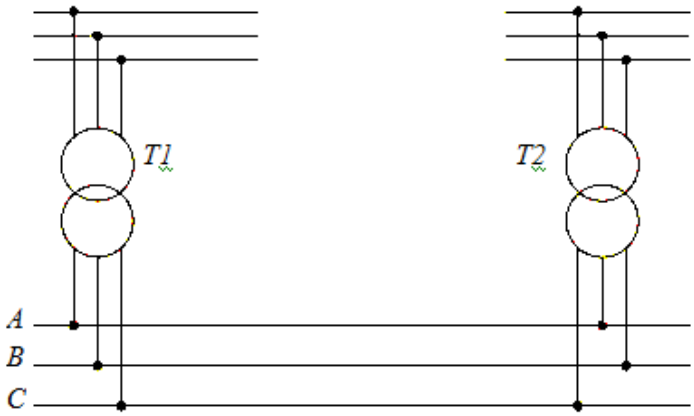


Рис. 6. Схема встречного включения фаз

Этот недостаток особенно актуален для линий с большим сечением проводов (>240 мм^2) класса напряжения 220 кВ и выше, у которых индуктивное сопротивление преобладает над активным. В таких случаях целесообразнее будет использовать для плавки гололёда не переменный,

а постоянный ток, так как при постоянном токе индуктивное сопротивление линии равно нулю. Его использование потребует введения в схему диодных выпрямительных блоков, но при этом снизит потребляемую мощность в 2–6 раз. Плавка гололёда ведётся, как правило, при напряжении 14 кВ и токе до 1200 А (рис. 7).

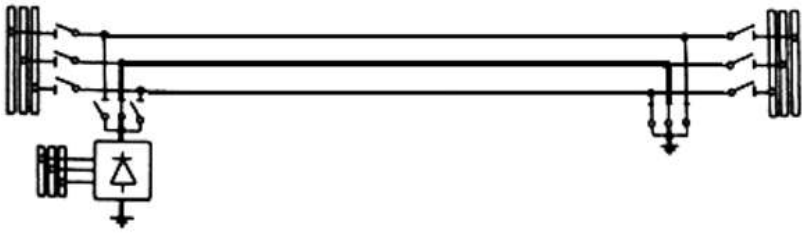


Рис. 7. Схема плавки гололёда постоянным током

При плавке гололёда постоянным током используются как схема «змейка», так и схема «фаза-земля». В обоих случаях в роли обратного проводника выступает земля. Здесь скрывается и недостаток применения постоянного тока: если устройство плавки гололёда находится на территории питающей линию подстанции, то растекающийся по грунту постоянный потенциал может проникать в глухозаземлённые нейтрали расположенных на данной подстанции силовых трансформаторов и вызывать увеличение потерь в стали сердечников.

Все описанные в статье способы плавки гололёда на линиях электропередач в той или иной степени могут быть применены при различных обстоятельствах. При этом каждый из рассмотренных методов имеет как преимущества, так и недостатки. Итак, сделаем вывод:

– плавка гололёда способом перераспределения нагрузки хорошо подходит для предотвращения образования гололёда при небольшом морозе, при образовавшемся гололёде она малоэффективна;

– плавка способом встречного включения фаз эффективна для линий, распложенных между двумя подстанциями с мощной связью по стороне высокого напряжения;

– прочие способы плавки переменным током хороши тем, что позволяют обойтись без выпрямительного оборудования, однако на линиях высокого напряжения из-за индуктивных потерь результат низкий.

На мой личный взгляд, наилучшим способом плавки гололёда является плавка постоянным током. Данный способ лишён такого недостатка, как расходование энергии на индуктивные потери, снижение потерь составляет от 2 до 6 раз. Вся затрачиваемая электроэнергия уходит на нагрев провода, что существенно повышает эффективность плавки.

Благодаря этому применение постоянного тока особенно целесообразно на длинных линиях высокого класса напряжения с большим сечением проводов. Дополнительные же расходы на установку выпрямительных блоков компенсируются экономией электроэнергии.

Источники

1. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова [и др.]; гл. ред. А.И. Попов. – 9-е изд., стер. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 964 с.
2. Бучинский В.Е. Гололед и борьба с ним. Л.: Гидрометиздат, 1960. 192 с.
3. Короткевич М.А. Основы эксплуатации электрических сетей. Минск: Вышэйшая школа, 1999. 269 с.
4. Способ и устройство для борьбы с гололедом на линиях электропередачи: пат. 2356148 Рос. Федерация № 2008119101/09; заявл. 15.05.2008; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 14. 13 с.
5. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: СПО ОРГРЭС, 2003. 161 с.

УДК 621.31

ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.М. Гарифуллина
ГАПОУ «НПК им. Е.Н. Королёва», г. Нижнекамск
adilyagarifullina2345@gmail.com
Науч. рук. Р.В. Сергеева

Аннотация. Тесная взаимосвязь надежности электроснабжения и качества электрической энергии требует рассмотрения и использования современных способов и средств обеспечения требуемых показателей надежности и качества новых организационно-технических мероприятий, направленных на реорганизацию системы электроснабжения, способов и технических средств, регулирующих уровень электроснабжения.

Ключевые слова: электроприемник, электропотребление, производственных электроустановок, электромагнитная совместимость, электроснабжение.

Интенсификация производства, развитие электротехнологии обуславливают на современном этапе и в перспективе увеличение энергоемкости промышленных предприятий и концентрацию нагрузок.

Промышленные предприятия были и остаются основными потребителями энергоресурсов: на долю электротехнического оборудования приходится около 80 % от общего количества используемой электрической энергии. Процесс электропотребления на промышленных предприятиях в настоящее время рассматривается как сложный динамический процесс. Это обусловлено разветвленностью схем электроснабжения, включающих в себя большое количество потребителей различного производственного назначения и мощности, работающих в различных режимах и условиях. Электропотребление даже отдельного потребителя представляет собой процесс, происходящий под воздействием большого количества факторов, влияние которых нестабильно во времени.

Проведенное исследование в области развития электропотребления, структуры и характера электроприемника позволяет отметить, что происходит качественная и количественная эволюция промышленных электроприемников. Растет число нелинейных, несимметричных и резкопеременных электрических приемников, которые вызывают отклонения показателей качества электрической энергии.

Рассматривая особенности работы нефтехимических предприятий г. Нижнекамска для сложившихся условий производства и влияния качества электроэнергии на работу производственных электроустановок, нами сделан вывод, что электрическое хозяйство данных производственных систем состоит из большого числа взаимосвязанных элементов. С точки зрения системного анализа оно может быть описано общепринятой системой электрических показателей: общее потребление, получасовой максимум нагрузки, электровооруженность труда, количество установленных электродвигателей, коэффициент технологической нагрузки, коэффициент активной мощности, установленная мощность всех электроприемников, мощность установленных электрических машин, годовой фонд рабочего времени использования максимальной мощности и т.п.

При этом многие представленные показатели не строго детерминированы, а являются случайными величинами. И при недостатке стабилизирующих средств вызывают ухудшение показателей качества электроэнергии. Анализируя причины ухудшения и его источники, легко заметить, что часть из них имеет системный характер, обусловленный балансами активной и реактивной мощности. Другая же часть находится в распределительной сети за шинами потребителя. Но электроэнергетическая система (ЭЭС) представляет собой единую и неделимую структуру. Поэтому источники ухудшения качества электроэнергии влияют в той или иной мере на всю систему, где электрическая сеть является передаточным звеном. Следовательно, электрооборудование

независимо от того, кому оно принадлежит, может подвержено влиянию такого качества электроэнергии, которое установилось в данный момент в точке сети, где это оборудование присоединено.

Как показывают результаты исследования в данной области, интегральная вероятность появления значений показателей качества электроэнергии, выходящих за допустимые (согласно ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения») пределы, находится в пределах 75–99 %. Это свидетельствует о том, что во многих случаях качество электроэнергии в электросетях предприятий не соответствует требованиям ГОСТа. Ухудшение показателей качества электроэнергии в большинстве случаев, как отмечают многие исследователи в данной области, связано с усилением взаимного влияния различных видов электрооборудования и воздействий нелинейных и ударных нагрузок (вентильных преобразователей). Для характеристики данного явления используется понятие «электромагнитная совместимость». Оно определяет степень взаимного влияния электрооборудования, при котором отсутствуют нарушения нормальной работы и снижение эффективности работы ниже определенного экономически обоснованного предела.

Электромагнитная совместимость зависит от особенностей питающей сети. Так, совместимость конденсаторных батарей и вентильных преобразователей определяется не только параметрами преобразователей, но также схемой сети и мощностью короткого замыкания на шинах, питающих эти нагрузки. При этом нагрузки могут оказаться несовместимыми в электромагнитном отношении даже при минимальных значениях несинусоидальности или несимметрии напряжения. Повреждения батарей конденсаторов при перегрузке из-за влияния токов высших гармоник возможны при весьма небольших значениях коэффициента несинусоидальности, меньших, чем допускаемые нормативами. Перегрузки, не приводящие к быстрому выходу из строя батарей, обусловливают сокращение срока службы изоляции. Таким образом, при решении задачи улучшения качества электроэнергии должна учитываться необходимость обеспечения электромагнитной совместимости оборудования.

Кроме того, анализ результатов исследования состояния качества электроэнергии на предприятиях показывает, что при работе электротехнологических установок в зоне проектных мощностей в большинстве случаев показатели качества электроэнергии являются случайными величинами, между которыми имеется как детерминистическая, так и вероятностная связь. Распределение отклонений напряжений обычно

отлично от нормального из-за наличия того или иного доминирующего фактора (автоматического регулирование напряжения). Остальные показатели качества, как правило, распределены по нормальному закону. На предприятиях и цехах со стабильным режимом работы показатели качества электроэнергии являются детерминированными величинами. Таким образом, задача улучшения качества электроэнергии должна рассматриваться как в детерминистической, так и в вероятностной постановке.

При изучении проблемы повышения показателей качества электрической энергии можно выделить следующие ее основные стороны:

– экономическую, включающую в себя методы расчета электромагнитной и технологической составляющих экономического ущерба от применения электроэнергии пониженного качества;

– математическую, заключающуюся, в основном, в обосновании рациональных методов расчета показателей качества электроэнергии;

– техническую, заключающуюся в разработке методов и технических средств нормализации качества электроэнергии, а также организации контроля и управления качеством электрической энергии.

В условиях перехода к рыночной экономике необходимо совершенствовать методологическую базу выбора вариантов технических решений при построении и системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии и выборе мест установки средств измерения. Для решения этой задачи следует исходить из решения основной задачи – обеспечения качества электроэнергии в электрической системе в целом. Только в этом случае можно рассчитывать на экономический эффект, который может быть достигнут за счет снижения потерь электроэнергии и исключения материального ущерба, обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в системе электроснабжения.

Необходимо подчеркнуть, что разработка мероприятий, связанных с обеспечением качества электроэнергии, должны быть результатом стратегии, воплощенной в технической политике отраслей, непосредственно заинтересованных в ее реализации. Практическое выполнение требований, направленных на обеспечение качества электроэнергии, должно отвечать технической политике через реализацию конкретных мероприятий. Основными этапами такой политики являются:

– энергетическое обследование состояния системы электроснабжения с целью определения соответствия показателей качества электрической энергии установленным требованиям в точке присоединения, определения местоположения источника искажения;

– проведение технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение качества электроэнергии, включая проектирование, монтаж и эксплуатацию;

– разработка и производство технических средств обеспечения качества электроэнергии, в том числе и средств измерения показателей качества электроэнергии.

В настоящее время ввиду того, что вопросам практического обеспечения качества электроэнергии уделялось мало внимания, требуемые мероприятия необходимо проводить в условиях эксплуатации.

Разработку технических и организационных мероприятий следует начинать с анализа причин, которые проводят к ухудшению качества электроэнергии. Большое значение приобретают организационные задачи. Первая, наиболее важная для поставщика электроэнергии, – это сертификация электроэнергии. Вторая, существенная как для энергоснабжающей организации, так и для потребителя, связана с заключением договора энергоснабжения, в котором предусмотрены согласительные условия по допустимым уровням показателей качества электроэнергии на границе их раздела, точкам и периодичности контроля качества электроэнергии, применяемым средствам.

При выборе средств обеспечения качества электроэнергии целесообразно предусматривать мероприятия, которые позволят снизить уровень помех, вносимых самим источником.

Наиболее актуальными мероприятиями по повышению надежности электроснабжения и качества электроэнергии в промышленности являются:

– реконструкция и модернизация систем электроснабжения промышленных предприятий, замена устаревшего и исчерпавшего срок службы оборудования на современное с повышением уровня номинального напряжения промышленных распределительных сетей вплоть до 110–220 кВ;

– повышение управляемости систем посредством установки дополнительной аппаратуры с дистанционным управлением, автономно работающей автоматики с элементами вычислительной техники и базой хранения, данных о параметрах режимов и процессов в системе электроснабжения;

– расширение использования автономных источников питания электроэнергией небольшой мощности с предпочтением возобновляемых источников, существенно повышающих надежность систем электроснабжения;

– подготовка обслуживающего персонала, владеющего современными методами и средствами управления системой электроснабжения потребителей, освоение зарубежных технологий, базирующихся на применении диагностических средств, оценки

технического состояния оборудования и его обслуживания по физическим характеристикам работоспособности. Тесная взаимосвязь надежности электроснабжения и качества электрической энергии требует рассмотрения и использования современных способов и средств обеспечения требуемых показателей надежности и качества новых организационно-технических мероприятий, направленных на реорганизацию системы электроснабжения, способов и технических средств, регулирующих уровень электроснабжения.

Источники

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2006. 32 с.
2. РД 34.15.501-88. Методические указания по контролю и анализу качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Союзтехэнерго, 1990. 73 с.
3. Управление качеством электроэнергии: учеб. пособие / И.И. Карташев [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 320 с.

УДК 621.317.619

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Э.Р. Девликамова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ehl8612@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук. И.В. Ломакин

Аннотация. В работе рассматривается возможность организации системы контроля качества электроэнергии на основе существующих бытовых приборов учета электроэнергии.

Ключевые слова: управление качеством, контроль качества, электроэнергия, канал контроля, прибор учета, алгоритм.

Для обеспечения требуемого качества электроэнергии ее следует рассматривать не только как физическое понятие, но и как товар, обладающий особыми потребительскими свойствами. К этим свойствам относятся: совпадение во времени процессов производства, транспортировки и потребления; зависимость характеристик качества электроэнергии от процессов ее потребления; невозможность хранения и возврата некачественной электроэнергии.

Федеральный закон «Об электроэнергетике» [1] определяет ответственность энергосбытовых организаций и поставщиков электроэнергии перед потребителями за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными нормативными требованиями.

Анализ документации, регулирующей качество электроэнергии, показал, что достаточно хорошо отработана та документация, определяющая основные показатели качества и порядок их измерения. А вот товарные отношения, регулируемые законами рынка и юридическими нормами, организованы недостаточно эффективно. Так в работе [2] обращается внимание на пробелы в правовом регулировании отношений сторон по договору энергоснабжения (поставки энергии), связанные с соблюдением требований к качеству подаваемой энергии, а именно, отсутствие утвержденных методик определения размера гражданско-правовой ответственности за нарушение этих требований в денежном выражении.

Согласно правилам предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов [3], за каждый час снабжения электрической энергией, не соответствующей требованиям законодательства Российской Федерации о техническом регулировании, суммарно в течение расчетного периода, в котором произошло отклонение напряжения и (или) частоты электрического тока от указанных требований, размер платы за коммунальную услугу за такой расчетный период снижается на 0,15 % размера платы, определенного за соответствующий расчетный период.

Однако размер установленной Правилами № 354 неустойки является незначительным. Кроме того, определенные проблемы вызывает соблюдение установленного порядка выявления и фиксации факта нарушения исполнителем требований к качеству электроэнергии. Это делает практически невозможным самостоятельное взыскание потребителем неустойки без поддержки уполномоченного административного органа, имеющего возможность привлечь сертифицированную лабораторию для контроля качества электрической энергии.

Предлагаемая на рынке серия анализаторов качества электроэнергии METREL содержит в себе приборы качества электроэнергии, которые объединяет высокое качество и значительный функциональный потенциал, позволяющий осуществлять контроль показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в соответствии с ГОСТ 30804.4.30, ГОСТ 30804.4.7. Более того, новые модели анализаторов качества электроэнергии METREL были созданы с учетом требований ГОСТ 32144 и способны выдавать

протокол в форме, рекомендованной в ГОСТ 33073. Но высокая цена делает их доступными только представителям сетевых компаний и экспертных лабораторий.

Одним из путей решения этой проблемы является создание системы контроля качества с использованием современных приборов учета электроэнергии. Наличие микропроцессоров в приборах учета и средств дистанционной передачи информации [4] существенно облегчает создание такой системы контроля качества электроэнергии и управления качеством.

В настоящее время сетевые компании осуществляют реконструкцию линий сетей электроснабжения с использованием цифровых приборов учета электроэнергии. В качестве примера можно использовать достаточно распространённые электросчетчики серии Меркурий-230, 231, предназначенные для коммерческого учета активной и реактивной (с 2014 года) электроэнергии в однофазных цепях переменного тока. Счетчики работают как автономно, так и в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии.

Функциональные возможности счетчика обеспечивают хранение, вывод на ЖК-индикатор и передача по интерфейсам следующей учётной информации:

– активной и реактивной энергии нарастающим итогом по каждому тарифу и по сумме;

– активной и реактивной энергии на начало каждого из двенадцати предыдущих месяцев по каждому из тарифов и по сумме.

Микропроцессорная система счетчика обеспечивает хранение архивной информации, считываемой через цифровые интерфейсы:

– суточных срезов активной энергии в течение шести месяцев;

– месячных срезов активной энергии в течение четырех лет;

Измерение, вывод на ЖК-индикатор и передача по интерфейсам следующих параметров электросети:

– мгновенные значения активной и реактивной мощности и зафиксированный их максимум;

– действующие значения фазного тока и напряжения и их максимумы;

– частоту сети.

Имеется возможность формирования профиля мощности нагрузки в виде массива мощностей активной энергии усреднённых на 30 минутных интервалах. Глубина хранения архива составляет шесть месяцев.

Анализ этих возможностей позволяет предположить, что программным путем можно заставить счетчик фиксировать и интервалы времени, в течение которых действующие значения фазного тока и напряжения не соответствовали требованиям.

Наличие возможности использования сменных интерфейсных модулей позволит организовать достаточно гибкую систему сбора, хранения и передачи информации о различных отклонениях показателей качества от допустимых значений.

Источники

1. Об электроэнергетике: федер. закон РФ от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Серков А. Правовая ответственность за нарушение требований к качеству энергии // Коммунальный комплекс России». URL: http://gkhprofi.ru/a-serkov-pravovaya-otvetstvennost-za-narushenie-trebovanij-k-kachestvu-energii/ (дата обращения: 25.09.2018).
3. О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов: постановление Правительства РФ от 6 мая 2011 г. № 354 (ред. от 15 сентября 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 25.09.2018).
4. Счётчик активной энергии статический однофазный «Меркурий 203.2Т»: рук-во по эксплуатации АВЛГ.411152.028 РЭ. URL: http://sto-amper.ru/files_new/203-2t.pdf (дата обращения: 25.09.2018).

УДК 621.316.1+621.3.019.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Н.Г. Егорова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Nadyaegorova1997@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук В.В. Максимов

Аннотация. В статье выявлены основные методы повышения энергоэффективности, рассмотрены различные виды потерь в линиях, произведено сравнение фактических потерь в распределительных сетях России с зарубежными странами и найдены способы их снижения, а также приведены мероприятия по повышению энергоэффективности при передаче электрической энергии в распределительных сетях.

Ключевые слова: энергоэффективность, электроэнергия, электрические сети, потери электроэнергии в сетях, способы снижения потерь, мероприятия по повышению энергоэффективности.

Электрическое хозяйство стремительно стареет. Уровень износа оборудования достигает почти 70 %, при этом 60 % потерь энергии при

передаче приходится на провода. Основную проблему составляет низкая механическая прочность проводов, которая ведет к обрывам на линиях электропередач и снижению качества электроэнергии. Одно из основных направлений улучшения ситуации – проведение глубокой модернизации электросетевого хозяйства с ориентиром на энергоэффективность.

Факторы, препятствующие развитию энергоэффективности в России:

– общее устаревание электрооборудования, что не позволяет применять к ним энергоэффективные мероприятия;

– человеческий фактор – не точные расчеты количества потребляемых ресурсов, завышенные тарифы, все это негативно сказывается на энергосбережении в регионах и России в целом.

Но повысить энергоэффективность при передаче электрической энергии возможно за счет:

– увеличения пропускной способности электрических сетей;

– снижения потерь электроэнергии при передаче;

– обеспечения бесперебойности энергоснабжения;

– повышения надежности ЛЭП [6].

Рассмотрим снижение потерь электроэнергии при передаче. Основными видами потерь являются технические, которые обусловлены физическими процессами в проводах и электрооборудовании, происходящими при передаче и распределении электроэнергии и нетехнические (коммерческие), которые обусловлены несанкционированным отбором мощности электроэнергии.

В 2017 году только в сетях ПАО «Россети» фактические потери составили в распределительном комплексе – 8,43 % или 53415,1 млн кВт·ч [1].

Для сравнения отметим, что потери электроэнергии в электрических сетях Китая составляют около 6 %. Величина относительных потерь электроэнергии в электрических сетях промышленно развитых стран мира (по данным Международного энергетического агентства) находится в пределах 4–7 %: в Германии – 4 %, Японии и Франции – 5 %, Австрии, США – 6 %, Италии и Швейцарии – 7 %. Таким образом, в распределительных сетях России фактические потери приблизительно в 2,5–3 раза выше, чем в распределительных зарубежных электросетевых компаниях.

К основным мероприятиям по снижению технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях относятся:

– использование 10 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети;

– увеличение доли сетей с напряжением 35 кВ;

– использование самонесущих изолированных и защищенных проводов для воздушных ЛЭП напряжением 0,4–10 кВ;

– использование максимального допустимого сечения провода в электрических сетях напряжением 0,4–10 кВ с целью повышения их пропускной способности;

– разработка и применение нового, более усовершенствованного электрооборудования;

– применение столбовых трансформаторов малой мощности (6–10/0,4 кВ) для сокращения протяженности сетей напряжением 0,4 кВ и потерь электроэнергии в них;

– более широкое использование устройств автоматического регулирования напряжения под нагрузкой, вольтодобавочных трансформаторов, средств местного регулирования напряжения для повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь;

– комплексная автоматизация и телемеханизация электрических сетей, применение усовершенствованных коммутационных аппаратов, средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения времени поиска ликвидации аварий;

– повышение точности измерений в электрических сетях на основе применения новых информационных технологий, автоматизации обработки телеметрической информации.

Наиболее перспективным решением проблемы снижения коммерческих потерь электроэнергии является разработка, создание и широкое применение автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), тесная взаимосвязь этих систем с программным и техническим обеспечением автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ), обеспечение АСКУЭ и АСДУ надежными каналами связи и передачи информации.

Совершенствование нормативной базы по контролю и снижению потерь электроэнергии в электрических сетях имеет особо важное значение. Именно от совершенства нормативной базы (Федеральных Законов, постановлений Правительства РФ, приказов Минэнерго России, корпоративных документов и стандартов), главным образом, зависит энергоэффективность Российской Федерации в целом, в том числе электрических сетей [2].

В результате анализа информации о структуре балансов электроэнергии, отпущенной в сеть, переданной и потребляемой электроэнергии появляются дополнительные возможности по выявлению безучётного и бездоговорного потребления электроэнергии. При этом снижение общего уровня потерь обеспечивается преимущественно за счёт уменьшения нетехнических потерь. Эффект энергосбережения от выявления безучётного и бездоговорного потребления электроэнергии носит не прямой, а косвенный характер.

Необходимо дальнейшее совершенствование методов расчёта технических потерь электроэнергии и их структуры, необходима разработка, внедрение и развитие методов, алгоритмов и программ оперативного мониторинга и анализа потерь, и качества электроэнергии в электрических сетях.

Рассмотрим основные мероприятия по повышению энергетической эффективности при передаче электрической энергии в распределительных сетях на примере АО «Ульяновская сетевая компания»:

1. Использование устройств закольцовок – строительство закольцованных линий позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей и запитывать потребителей при выполнении ремонтных работ.

2. Оптимизация мест размыкания линий 6–10 кВ с двусторонним питанием, а именно перенос точки раздела кольцующихся ВЛ 6–10 кВ для достижения равности нагрузок по линиям (при кольцуемых схемах электроснабжения), что способствует снижению потерь электроэнергии в линиях электропередач, повышении. общей надёжности системы электроснабжения и качества электроэнергии.

3. Выравнивание нагрузок фаз в электросетях 0,4 кВ – переключение потребителей на менее загруженные фазы снизит технические потери в перегруженных проводах.

4. Замена проводов на перегруженных линиях 0,4 кВ – замена проводов на большее сечение, что обеспечит снижение потерь в линиях электропередач и уменьшению падения напряжения в линиях.

5. Устранение дефектов на эксплуатируемых ТП, выявленных при тепловизионном обследовании, – устранение сверхнормативного нагрева контактных соединений в электроустановках позволяет снизить потерь электроэнергии в контактных соединениях.

Таким образом, только комплексный подход к стимулированию повышения энергоэффективности при передаче электроэнергии (а это и совершенствование действующего законодательства, и применение конкретных экономических механизмов) может способствовать широкому распространению энергосберегающих технологий в РФ.

Дальнейшее мое исследование будет посвящено разработке мероприятий для энергоэффективной передачи электроэнергии, выявлению новых способов снижения электроэнергии и применения их на практике.

Источники

1. Шойимова С. П. Потери электроэнергии и способы борьбы с ними // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 278–280.

2. Войтов О.Н., Голуб И.И., Семенова Л.В. Алгоритмы определения потерь электроэнергии в электрической сети // Электричество. 2009. № 10. С. 38–44.

3. Воротницкий В.Э., Калинкина М.А. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям: учеб.-метод. пособие. 3-е изд. стереотип. М.: ВНИИЭ, 2003. 64 с.

4. Вуколов В.Ю., Куликов А.Л., Папков Б.В. Повышение эффективности передачи электроэнергии в распределительных сетях // Библиотечка электротехника. 2013 № 11 (179). С. 3–79.

5. Рязанова Г.Н., Никонова И.О., Прокопьева А.Ю. Энергосбережение в России: задачи и пути их решения // Региональное развитие, 2015. № 7.

6. Потери электроэнергии в электросетях. URL: http://StudFiles.net/preview/6231128/page:2/ (дата обращения: 12.03.2018).

7. Воротницкий В.Э., Жеженко И.В., Трофимов Г.Г. Повышение энергетической эффективности электрических сетей. URL: http://www.sro-eo.ru/news/1101 (дата обращения: 12.03.2018).

УДК 620.1:621.315.2

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Л.Ф. Загидуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zagidullina167@mail.ru
Науч. рук. И.Д. Гиззатова

Аннотация. В данной статье рассмотрены наиболее эффективные методы контроля состояния кабельных линий и реализация этих методов в системе мониторинга марки «КМК-500» (Комплексный Мониторинг Кабельных линий), который предназначен для непрерывного диагностического контроля технического состояния высоковольтных кабельных линий, включая 500 кВ. Приведена стандартная комплектация системы. Рассмотрено техническое задание по внедрению системы онлайн мониторинга частичных разрядов в изоляции кабелей и кабельной арматуры для существующих кабельных линий.

Ключевые слова: электроснабжение, кабельная линия, контроль состояния кабельных линий, шкаф мониторинга, изоляция, определение мест повреждения, режим работы линии, постоянный мониторинг.

Основой надёжного электроснабжения потребителей электрической энергией является безаварийная работа кабельных линий. Качественное электроснабжение потребителей городских сетей и промышленных предприятий зависит от принятых на стадии проектирования современных технологических решений и использования новейшей кабельной

арматуры, от профессиональной прокладки кабелей и строгого соблюдения всех требований при эксплуатации кабельных линий.

Несмотря на увеличение качества изоляции кабельных линий нельзя исключать их повреждения. Более того, удельное количество повреждений – достаточно устойчивая характеристика определённого класса электрических сетей.

Определение мест повреждения (ОМП) – наиболее тяжелая, а часто и одна из наиболее длительных технологических операций по исправлению повреждённого элемента сети.

Затраты средств на ОМП составляют большую часть эксплуатационных издержек в электросетях. Доля же капитальных затрат на устройства для ОМП в общих капитальных затратах относительно мала. Внесение прогрессивных методов и средств ОМП даёт существенный экономический эффект. Он складывается из своевременного обнаружения слабых мест в кабельных линиях путём проведения профилактических высоковольтных испытаний, сокращения перерывов электроснабжения, уменьшения объёмов ремонтных работ и снижения расходов на земляные работы в летний период времени. Совокупность операций по поиску повреждений и возобновление работоспособности кабельной линии рассматривается как единая взаимосвязанная система [5].

Уменьшение аварийности работы кабельных линий может произойти только за счет внедрения в эксплуатацию систем непрерывного мониторинга, которые могут осуществлять контроль состояния изоляции кабельных линий в режиме реального времени. И именно такие системы могут вовремя выявлять быстро развивающиеся дефекты на самых начальных стадиях, тем самым оперативно устранять всевозможные аварийные ситуации с высоковольтными кабельными линиями.

Целью исследования является определение наиболее эффективного метода контроля состояния кабельных линий и реализация этих методов в системе мониторинга марки «КМК-500» (Комплексный Мониторинг Кабельных линий), который предназначен для непрерывного диагностического контроля технического состояния высоковольтных кабельных линий, включая 500 кВ.

Существует три взаимодополняющих методов контроля состояния кабельной линии под рабочим напряжением. Эти методы физически независимы друг от друга, но при использовании всех трех методов дается наиболее высокая диагностическая эффективность. Это:

– метод контроля и мониторинга технического состояния кабельной линии на основе непрерывного измерения продольного профиля температуры кабельной линии с использованием встроенных оптических линий;

– метод оперативного контроля и мониторинга технического состояния кабельной линии на основе измерения и анализа частичных разрядов в изоляции муфт и кабеля;

– метод контроля емкостных токов утечки в экранах кабельных линий, позволяющий контролировать наличие повреждений оболочки кабельных линий [4].

Каждый перечисленный метод контроля состояния высоковольтных кабельных линий под рабочим напряжением имеет свои достоинства, недостатки и рассчитан для решения разнообразных диагностических задач.

Точнейшие технико-экономические результаты при проведении мониторинга высоковольтных кабельных линий могут быть получены при комплексном использовании всех вышеназванных диагностических методов. Технически и алгоритмически оборудование для реализации этих методов интегрировано в комплексной системе мониторинга марки «КМК-500».

Главной особенностью этой системы является то, что оперативный контроль состояния кабельных линий (КЛ) ведется с использованием нескольких типов датчиков и регистрирующей аппаратуры, а анализ технического состояния КЛ осуществляется на основе комплексного сравнения результатов работы всего диагностического оборудования:

– контроль режимов работы линии на основании анализа профиля температуры с использованием встроенных оптоволоконных датчиков;

– контроль состояния кабеля по результатам измерения частичных разрядов с использованием высокочастотных трансформаторов тока;

– контроль состояния концевых и соединительных муфт по частичным разрядам при помощи акустических датчиков;

– регистрация и анализ емкостных токов утечки и уравнительных токов в экранах кабельной линии, контроль токов утечки через повреждения оболочки [3].

Система «КМК-500» может состоять из различных измерительных и диагностических оборудований и первичных датчиков, производимых различными фирмами. Конкретный выбор диагностического оборудования формируется конкретными особенностями контролируемой кабельной линии и требованиями технического задания на систему мониторинга.

Гибкая организация технических и программных средств, заложенная в систему мониторинга марки «КМК-500», в наибольшей мере соответствует оптимальному техническому и экономическому решению диагностических задач, которые возникли в процессе мониторинга высоковольтных кабельных линий, и позволяет использовать технические решения различной функциональности и стоимости.

В стандартной, наиболее полной конфигурации технических средств система мониторинга марки «КМК-500» комплектуется следующим диагностическим оборудованием:

– система контроля температуры кабельной линии (при помощи встроенного оптического волокна) марки «ASTRO», производителем которой является отечественная фирма «Инверсия – Сенсор». Эта новейшая высокотехнологическая система мониторинга позволяет оценивать температурный режим работы кабельной линии и определять зоны кабеля с повышенным нагревом;

– для нахождения дефектов в изоляции кабеля и муфт по частичным разрядам на начальных стадиях их возникновения и развития, определение типа и опасности выявленного дефекта, оперативного проведения локации места возникновения дефектов в системе «КМК-500» используются различные диагностические приборы производства отечественной фирмы «DIMRUS». Это приборы марок:

– «CDM», «CDU» – приборы контроля состояния изоляции кабельных линий до 35 кВ, подключенных к одному КРУ или кабельной сборке;

– «CDR» – прибор контроля состояния кабельных линий до 500 кВ по уровню и распределению частичных разрядов;

– «ADM» – прибор, предназначенный для контроля состояния изоляции концевых и соединительных муфт при помощи контактных акустических датчиков;

– «CSM» – прибор, предназначенный для комплексного контроля наиболее ответственных муфт, находящихся в критическом состоянии;

– «CLM» – прибор оперативного контроля токов утечки и поиска повреждений оболочек кабелей. Для длинных кабельных линий, в которых диагностика повреждений оболочки затруднена, в «КМК-500» используются регистраторы переменных токов и напряжений типа «ПАРМА».

Если расстояние от шкафа мониторинга «КМК-500/1» до контролируемой кабельной линии достаточно велико (более нескольких десятков метров), то все измерительные приборы контроля и мониторинга, с целью уменьшения длины сигнальных кабелей и снижения общего уровня наведенных помех, монтируются в дополнительном шкафу мониторинга марки «КМК-500/2».

Локальный шкаф системы марки «КМК-500/2» всегда устанавливается в начале для длинных линий и в конце – контролируемой кабельной линии, рядом с концевыми муфтами кабельной линии.

Промежуточный шкаф системы мониторинга марки «КМК-500/3» используется для контроля состояния соединительных муфт и смежных

с ними участков кабельной линии. Шкаф монтируется непосредственно на линии, рядом с контролируемыми муфтами [1].

Из-за высокой стоимости система используется только для мониторинга наиболее дорогих и ответственных кабельных линий.

Примерные цены на приборы

Прибор	Примерная стоимость, руб.
«ASTRO»	–
«CDR»	435000–468000
«ADM»	495000
«CDM»	429000-693000

Стоимость «КМК-500» не указана. Стандартный набор системы «КМК-500» состоит из приборов «CDR», «ADM» и системы «ASTRO» (примерные цены на приборы приведены в таблице).

В настоящий момент ОАО «Сетевая компания» г. Казани разрабатывает решение технического задания по внедрению системы онлайн мониторинга частичных разрядов (ЧР) в изоляции кабелей и кабельной арматуры для существующих кабельных линий от ПС 110 кВ «Центральная» до ПС 110 кВ «Восточная». Рассмотрим этапы проекта и основные характеристики объекта.

Разработка состоит из трех этапов:

I – разработка проектной документации в соответствии с требованием нормативно-технических документов, а также указаний заводов-изготовителей систем мониторинга;

II – согласование и экспертиза проектной документации;

III – поставка и пуско-наладка оборудования, обучение обслуживающего персонала.

Основные характеристики проектируемого объекта.

Кабельная линия 110 кВ ПС «Центральная» – ПС «Восточная» разбита на участки.

Общая длина всей КЛ, подлежащей мониторингу – 10,735 км.

Количество муфт, подлежащих онлайн мониторингу ЧР:

– ПС Восточная – 6 концевых муфт;

– ПС Советская – 12 концевых муфт (6 – в сторону ПС Восточная; 6 – в сторону ОМ-6);

– Обслуживаемый муфтовый колодец ОМ-6 – 6 отпаечных муфт;

– ПС Центральная – 6 концевых муфт [2].

Таким образом, можем сделать вывод, что:

1. Непрерывный мониторинг кабельной линии осуществляет контроль режимов работы линии по температуре и токам в экране.

2. Время формирования дефектов в кабеле из сшитого полиэтилена (СПЭ) сравнительно невелико, поэтому только постоянный мониторинг способствует своевременному обнаружению опасных дефектов в кабельных линиях.

3. Применение систем мониторинга препятствует внезапному возникновению аварийных режимов.

4. При помощи встроенной системы технического состояния происходит минимизация затрат на эксплуатацию контролируемой кабельной линии.

Источники

1. Оперативный контроль технического состояния высоковольтных кабельных линий / С.В. Белковский [и др.] // Энергоэксперт. 2015. № 3. С. 67–68.

2. Техническое задание по внедрению системы онлайн мониторинга частичных разрядов в изоляции кабелей и кабельной арматуры для существующих кабельных линий от ПС 110 кВ «Центральная» до ПС 110 кВ «Восточная». Казань: ОАО «Сетевая компания», 2018–2019.

3. Система температурного мониторинга кабельных линий [Электронный ресурс]: дис. … уч. ст. магистра. URL: http://elib.spbstu.ru/dl/2/v17-4717.pdf/download/v17-4717.pdf (дата обращения: 23.11.2018).

4. DIMRUS. Диагностические решения в энергетике [Электронный ресурс]. URL: https://dimrus.ru/texts/cablesm.html (дата обращения: 23.11.2018).

5. Эксплуатация систем электроснабжения [Электронный ресурс]. URL: http://www.mini-soft.ru/document/ekspluataciya-sistem-elektrosnabzheniya-1 (дата обращения: 23.11.2018).

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И.И. Ибатуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ibatullin-ilnaz@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук И.Ф. Галиев

Аннотация. В тезисе описывается процесс моделирования отказов и восстановлений оборудования электрической сети для анализа надежности электроснабжения.

Ключевые слова: работоспособность, надежность, отказ, электрическая сеть, интенсивность отказов, время восстановления.

Электросетевой комплекс является сложной системой с множеством различных взаимосвязанных элементов сети: воздушных и кабельных линий, трансформаторов, выключателей, разъединителей, распределительных устройств, обеспечивающих передачу и распределение электрической энергии и мощности от источника питания (групп точек поставки) до конечных потребителей (узлов нагрузки). Работоспособность сети, как и любой системы, обуславливается работоспособностью ее элементов и их сочетанием [1].

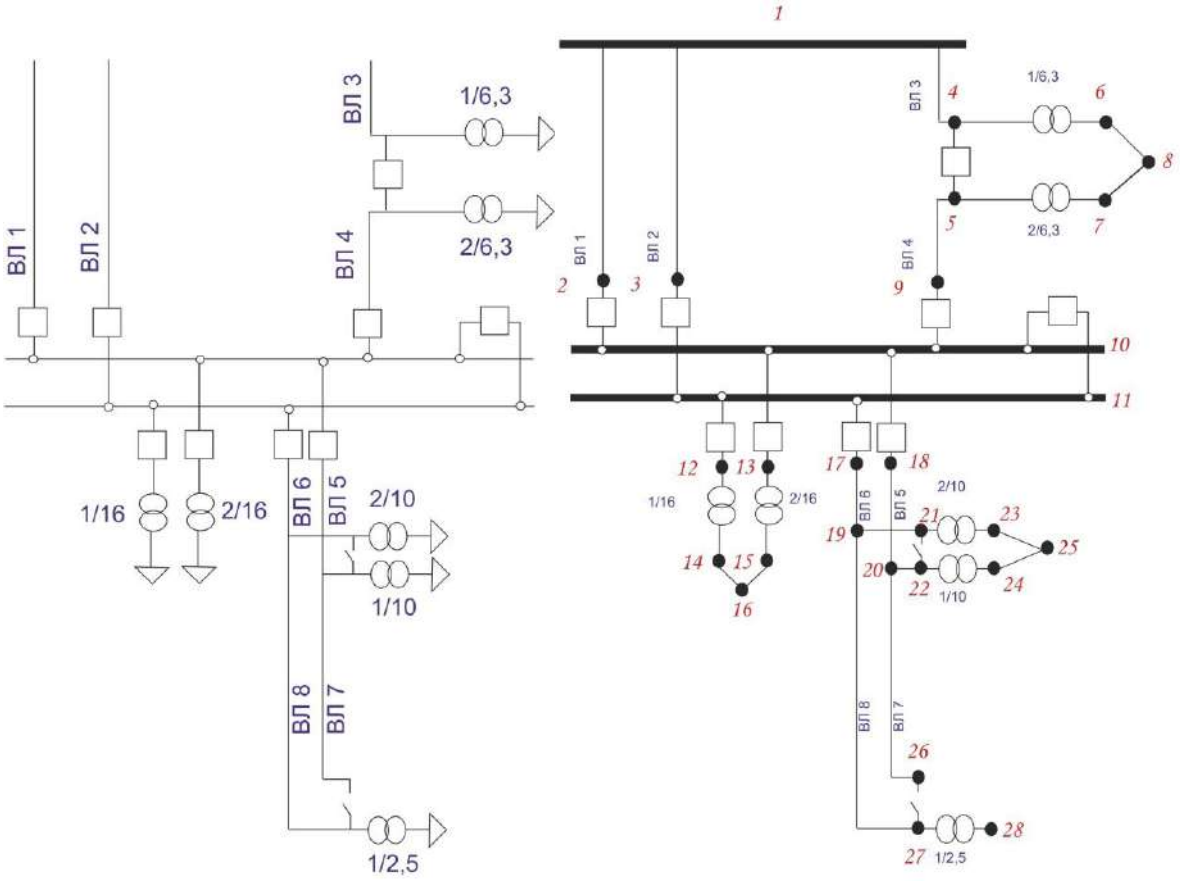


Схема электрических соединений сети и ее эквивалент

В связи с этим для оценки надежности электроснабжения узлов сети (в том числе и узлов нагрузки) необходимо построение эквивалента. Сборка сети в эквивалент является одним из наиболее значимых этапов упрощенной оценки надежности электроснабжения потребителей. Эквивалент условно повторяет принципиальную схему электрических соединений, учитывает все обладающие ограниченной надежностью элементы на пути от источника питания до узлов нагрузки (потребителей) (см. рисунок).

Узлом расчетной схемы является место электрического соединения оборудования сети, к примеру, место соединения выключателя и воздушной линии или трансформатора с выключателем.

Ветвями на расчетной схеме являются обладающие единичной надежностью элементы электрической схемы (линии электропередачи, трансформаторы, выключатели, разъединители, распределительные устройства), по которым энергия передается от источника питания к узлам нагрузки. Т.е. ветвью *i-j* расчетной схемы является оборудование сети, соединяющее узел *i* с узлом *j*. Индекс *i-j* демонстрирует возможное направление распределения потоков мощности в схеме.

Критерием для определения вида соединения (последовательного или параллельного) при построении эквивалента является влияние отказа ветви (оборудования) на работоспособность системы (либо последующего узла).

Также вводятся логические узлы, моделирующие источник питания, группы точек поставки для питающей сети. Данные узлы принимаются абсолютно надежными.

В качестве узлов нагрузки принимаются границы раздела технологических присоединений (низкая сторона трансформаторов) либо иной узел схемы, в зависимости от целей проводимого расчета.

Показатели надежности узлов эквивалента определяются на основе показателей надежности, связанных с ними ветвей, а также схемы их соединения по отношению к данному узлу (т.е. топологии) [1].

Для удобства работы с большим массивом данных эквивалентная схема представляется в матричной форме, что позволяет учесть направление перетоков мощности. Составляемая матрица является симметричной, размерности $m \times m$, количество строк и столбцов определяются количеством узлов анализируемой схемы.

Ячейки матрицы заполняются по строкам по следующим правилам:

– $m_{ij} = 1$ при наличии последовательной связи узла *i* и узла *j* (т.е. ветви *i-j*) и возможности передачи мощности в указанном направлении;

– $m_{ij} = 2...g$ при наличии *g* параллельных связей узла *i* и узла *j* (при условии равной надежности ветвей);

– $m_{ij} = 0$ при отсутствии связи либо невозможности передачи мощности из узла *i* в узел *j*;

$mij = 0$ при $i = j$.

Таким образом, $mij \neq 0$ обозначает наличие оборудования, позволяющего осуществить передачу мощности из узла *i* в узел *j*.

Если узлы i и j соединены двумя и/или более ветвями с различными показателями структурной надежности, то данные связи необходимо эквивалентировать отдельно и в матрице взаимосвязи рассматривать как единую ветвь.

При представлении эквивалентной сети в матричной форме необходимо составить матрицы для времени восстановления и интенсивности отказов ветвей. В ячейках данных матриц указываются соответствующие значения интенсивности отказов ($\omega_{i\text{-}j}$) и времени восстановления ($t_{\text{в}i\text{-}j}$) ветвей (оборудования).

Показатели надежности электрической сети при представлении топологии сети в матричной форме рассчитываются по следующим формулам:

$$T_j = \prod_{i=1}^{m} \frac{(T_i + T_{i-j})^{m_{ij}}}{8760^{\sum m_{ij} - 1}}, \tag{1}$$

$$t_{\text{в}j} = \left(\sum_{i=1}^{m} m_{i-j} \cdot \frac{\omega_i + \omega_{i-j}}{T_i + T_{i-j}} \right)^{-1}, \tag{2}$$

$$\omega_j = \frac{T_j}{t_{\text{в}i}}, \tag{3}$$

где ω_j, $t_{\text{в}j}$, T_j – соответственно частота отказов, среднее время восстановления, среднегодовая продолжительность отключений питания для j-го узла сети; ω_i, T_i – частота отказов, среднегодовая продолжительность отключений питания, соответственно, для i-го узла сети; $\omega_{i\text{-}j}$, $T_{i\text{-}j}$ – показатели надежности ветви i-j; $m_{i\text{-}j}$ – значение элемента матрицы взаимосвязей; m – количество узлов сети.

Источники

1. Обоскалов В.П. Структурная надежность электроэнергетических систем: учеб. пособие / В.П. Обоскалов. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 196 с.

УДК 621.316

РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Е.В. Иванова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
EvgeniyaIv.1997@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук О.В. Воркунов

Аннотация. В данной статье рассмотрены: состав, основные аспекты проектирования цифровых подстанций и возможность их внедрения в РТ.

Ключевые слова: цифровая подстанция, проектирование, надежность.

Внедрение современных цифровых технологий является неотъемлемой частью развития электроэнергетических систем и сетей. В связи с этим создание современных цифровых подстанций, обеспечивающих сбор, передачу и обработку информации, является актуальной задачей.

Основой любой цифровой подстанции, состоящей из интеллектуального первичного и вторичного оборудования, является протокол обмена данными, обеспечивающий эффективное использование информации о процессах на подстанции, а также повышение согласованности действия различных видов оборудования.

Одна из главных задач на пути построения «цифровых подстанций», в частности создание необходимого комплекса вторичного оборудования с поддержкой цифровых протоколов, – на сегодняшний день осуществима. Тем не менее, остается еще ряд организационных и технических вопросов, без решения которых переход на «цифру» во вторичных системах не может быть осуществлен. В частности, для создания типовых проектов необходимо учесть следующие основные факторы, к которым можно отнести: обеспечение функциональной совместимости устройств различного назначения и различных производителей и надежность передачи данных по цифровым сетям, отсутствие стандартизированных программных комплексов для автоматизированного проектирования. К достоинству последних можно отнести:

– типизация схемных и функциональных решений. Сокращение числа функциональных цепей, клеммных рядов в релейных отсеках ячеек;

– сокращение объема монтажных и наладочных работ. Применяется решение высокой заводской готовности. На заводе производится монтаж оборудования КРУ по главным и вспомогательным цепям. Прокладываются связи меж шкафов систем оперативного тока, а также монтируются системы АСУ ТП, АСКУЭ. Осуществляется параметрирование, конфигурирование и тестирование систем РЗиА;

– сокращение времени проектирования. Переход от проведения планового технического обслуживания по времени к обслуживанию по состоянию оборудования за счет on-line диагностики состояния оборудования. Тем самым снижается количество выездов работников для проведения регламентных работ;

– 100 % оперативных переключений производится дистанционно с видеоконтролем операций. Простая интеграция всех систем в единое цифровое пространство позволяет безопасно и оперативно управлять подстанцией, а также встраивать в систему АСУ ТП других уровней.

Несомненно, отсутствие современных средств проектирования, которые учитывают специфику проектирования подобных объектов, является первичным сдерживающим фактором.

Система автоматизации энергетического объекта, построенного по технологии «Цифровая подстанция», делится на три уровня:

– полевой уровень (уровень процесса);

– уровень присоединения;

– станционный уровень.

Полевой уровень состоит из первичных датчиков для сбора дискретной информации и передачи команд управления на коммутационные аппараты; первичных датчиков для сбора аналоговой информации (цифровые трансформаторы тока и напряжения).

Уровень присоединений состоит из электронных интеллектуальных устройств: устройств управления и мониторинга (контроллеры присоединения, многофункциональные измерительные приборы, счетчики АСКУЭ, системы мониторинга трансформаторного оборудования и т.д.); терминалов релейной защиты и локальной противоаварийной автоматики.

Станционный уровень состоит из серверов верхнего уровня (сервер базы данных, сервер SCADA, сервер телемеханики, сервер сбора и передачи технологической информации и т.д., концентратор данных); автоматизированного рабочего места (АРМ) персонала подстанции.

Несмотря на достаточно высокую стоимость внедрения современных цифровых подстанций, их преимущества неоспоримы:

– отсутствует электрическая связь между первичным и вторичным оборудованием: не требуется решать вопросы о передаче повышения напряжения и обеспечения заземления в двух точках; электромагнитная помеха с первичного оборудования не может передаться во вторичные цепи;

– единая информационная платформа: интеграция систем мониторинга, релейной защиты, регулирования напряжения и реактивной мощности VQC, системы от выполнения неправильных операций;

– упрощение вторичных присоединений: замена большинства электрических кабелей малым количеством оптоволоконных кабелей;

– повышение качества измерения.

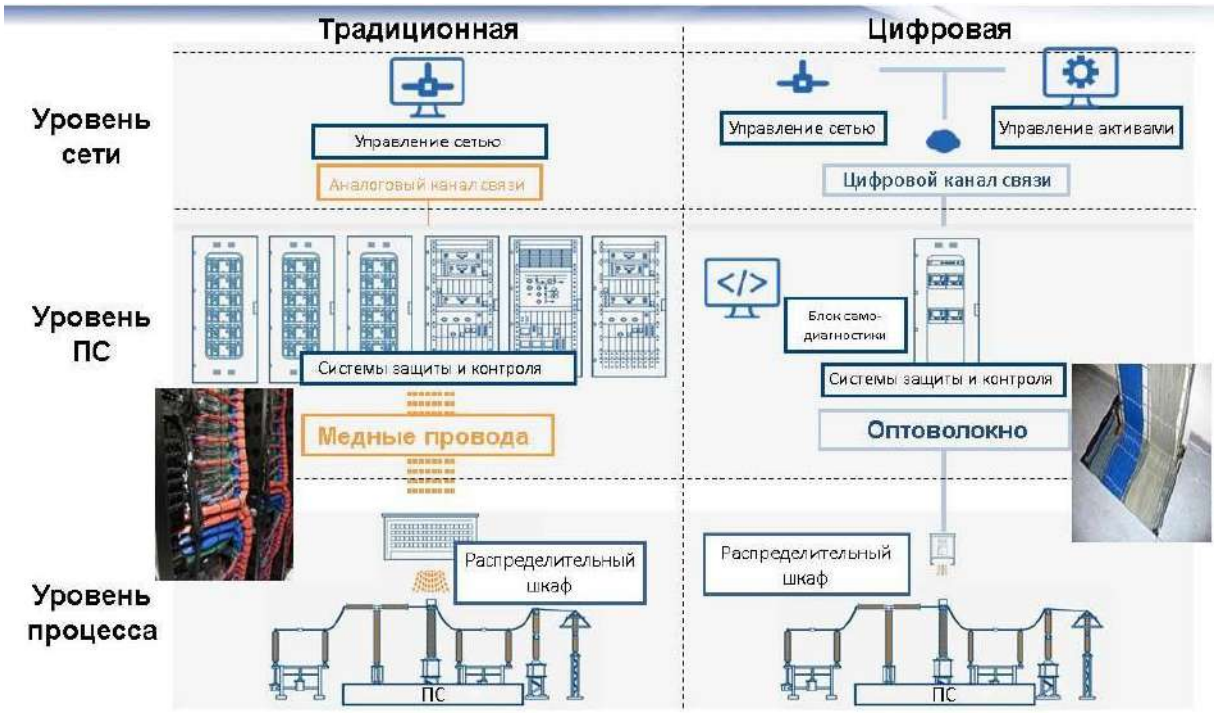
Однако где есть преимущества, всегда существуют и недостатки:

– проблемы кибербезопасности;

– повышенная сложность и новизна стандарта;

– требование полного переобучения персонала.

Инфографика, наглядно иллюстрирующая главные отличия цифровой подстанции от традиционной, представлена на рисунке.



Отличия цифровой подстанции от традиционной

В качестве протокола передачи данных в современных цифровых подстанциях используется универсальный протокол МЭК 61850, который обеспечивает возможность самодиагностики оборудования и всех систем, установленных на подстанции, в режиме реального времени. В случае выявления отклонений от нормального режима работы, системой автоматически задействуется резервная схема, а оперативному персоналу выдается соответствующее сообщение. Система проанализирует данные и сформирует рекомендации по техническому обслуживанию оборудования, что позволяет изменить принцип работы с регулярных плановых профилактических работ на работу по факту появления неисправностей.

В РТ, как и в ряде регионов России, уже началось внедрение современных цифровых подстанций.

Цифровая подстанция, расположенная в Казани, будет первой в своём роде в РТ. Её пилотное внедрение позволит оценить необходимость перехода на цифровые технологии, а также введение России в единую интеллектуальную систему.

Источники

1. Об инновационном проекте «Умная сеть» / И.Ш. Фардиев [и др.] // Энергетика Татарстана. 2010. № 3. С. 5–12.
2. Медведева Е.А. Острые углы цифровизации // «Электроэнергия. Передача и распределение». 2018. № 4. С. 18–20.
3. Воркунов О.В., Зайнутдинов Э.И. Программные средства для автоматизированного проектирования электрических сетей // Вестник современных исследований. 2018. № 5.3 (20). С. 397–399.

УДК 62-50

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ГИДРОАГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Р.Л. Исаков
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
rafaelqa2@yandex.ru
Науч. рук. д-р техн. наук В.Н. Шарифуллин

Аннотация. В данной работе рассмотрены вопросы оптимизации энергетических режимов агрегатов гидроэлектростанций. Предложен новый метод расчета оптимального распределения активной нагрузки между генераторами, основанный на использовании зависимостей удельного прироста расхода воды от мощности. Оптимальное распределение находится путем решения уравнения, описывающего равенство суммарной мощности агрегатов и заданной мощности станции при одинаковых удельных приростах расхода для всех турбин.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, активная мощность, гидротурбина, расход воды.

В настоящее время часто излагаются и решаются пути повышения эффективности гидроэлектростанций за счет назначения рациональных режимов работы гидроагрегатов.

Вопросы выбора оптимального состава агрегатов являются частью большой и сложной проблемы создания методов и алгоритмов управления режимами сложных энергетических систем.

Во многих производствах возникает необходимость параллельного включения агрегатов, объединенных общим коллектором. Такие схемы

позволяют повысить производительность системы и надежность производства. К таким системам относятся гидроагрегаты ГЭС, соединенные по параллельной схеме, их задача заключается распределении стока их воды между гидроагрегатами таким образом, чтобы максимизировать количество вырабатываемой ГЭС электроэнергии.

Для оценки экономического эффекта от использования оптимального распределения мощности между агрегатами рассмотрим случай двух существующих однотипных турбин с суммарной выработкой активной мощности 120 МВт. Зависимости расхода воды через турбину от мощности для двух видов гидротурбин представлены в таблице, где Q_1, Q_2 – расходы воды на турбины ПЛ-661-ВБ-800 и ПЛ30/3295-В-800, соответственно.

Зависимости расхода воды от мощности гидроагрегатов
Q_1 – турбина ПЛ-661-ВБ-800, Q_2 – турбина ПЛ30/3295-В-800

N, МВт	Q_1, м^3/с	Q_2, м^3/с
35	252	252
40	289	288
45	326	324
50	364	363
55	406	401
60	458	436
65	509	470
70	–	505
75	–	540

Из таблицы видно, что при равномерном распределении мощностей между агрегатами (N_1 = 60 МВт, N_2 = 60 МВт) суммарный расход воды через турбины составит 458 + 436 = 894 м^3/с. В случае распределения мощности, близкой к оптимальному (N_1 = 50 МВт, N_2 = 760 МВт), будет получен меньший расход 364 + 505 = 869 м^3/с. Таким образом, за счет оптимального распределения мощности между гидроагрегатами расход воды может быть снижен на 25 м^3/с, или приблизительно на 3 %.

Целью работы была разработка алгоритмов и программ управления системой гидроагрегатов.

В качестве целевой функции рассматриваемой задачи принята суммарная активная мощность всех гидроагрегатов, а управляющими параметрами являлись водостоки через каждый гидроагрегат.

$$\sum_{i=1}^{n} N_i = \sum_{i=1}^{n} N_i(Q_i) = N(Q_1 \ldots Q_n) \to \max ,$$

где $Q_{\min} \le Q_i \le Q_{\max}$.

При разработке алгоритмов оперативного управления принималось, что с каждого работающего гидроагрегата поступают непрерывно измерения его мощности и расхода воды через него. Учитывалось также, что производственные измерения всегда содержат ошибку измерения. Разработка алгоритмов управления основывалась на двух методах: теоретическом и эвристическом. Согласно теоретическому подходу, базирующегося на методе множителей Лагранжа, распределение потоков должно обеспечить равенство относительных приростов мощности.

$$r_i = \frac{dQ_i}{dN_i} = idem.$$

где r_i – определяющий изменение расхода энергоносителя в единицу времени Q_i при изменении активной мощности агрегата N_i на единицу.

Эта задача очень сложная и, учитывая линейность характеристик вблизи рабочих точек, нами использовался упрощенный метод для линейных систем. По этому методу был разработан первый алгоритм управления.

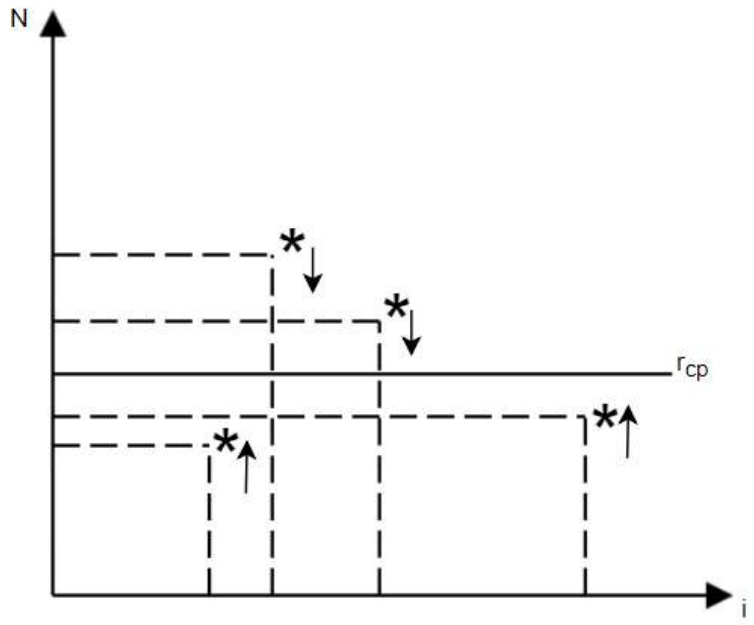
Однако дифференциальный показатель, используемый при теоретическом подходе, очень чувствителен к ошибкам измерений, старению оборудования, динамическим процессам, и это может привести к большим ошибкам управления и его бессмысленности. Поэтому были разработаны 2 эвристических алгоритма. Принцип первого из них заключается в периодическом установлении наиболее слабого по вырабатываемой мощности гидроагрегата и корректировке его нагрузки. Если его нагрузка меньше средней, то ее увеличивают, а если выше средней, то ее уменьшают.

$$Q_i = Q_i^* \pm \Delta Q$$

где $Q_{\min} \le Q_i \le Q_{\max}$.

Согласно второму алгоритму контроль эффективности гидроагрегата проводится по отношению вырабатываемой мощности к водостоку.

Так же, как и в первом алгоритме, устанавливается слабый агрегат и корректируется его нагрузка (см. рисунок).



Удельные приросты агрегатов

Были поставлены и решены следующие цели:

1. Разработка алгоритма оптимального распределения нагрузки параллельных гидроагрегатов на ГЭС.
2. Разработка программы расчета оптимального режима на ЭВМ.
3. Тестирование разработанной программы.

Источники

1. Глазырин Г.В. Метод оптимизации режима работы гидроэлектростанции для группового регулятора активной мощности // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 1 (33). С. 40–44.
2. Глазырин Г.В., Твердохлебов Н.Н., Казанцев Ю.В. Оптимальное распределение мощности между агрегатами гидроэлектростанции с учётом напора нетто // Научный вестник Новосибирского Государственного Технического Университета. 2013. № 4 (53). С. 150–155.
3. Автоматизация энергетических систем / А.Д. Дроздов [и др.]. М.: Энергия, 1977. 440 с.
4. Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. Оптимизация режимов электростанции и энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1990. 353 с.
5. Мэтьюз Д.Г., Финк К.Д. Численные методы, использование MATLAB. 3-е изд. М.: ИД «Вильямс», 2001. 716 с.

УДК 628.931

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ СПОРТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕЖДУНАРОДНОГО УРОВНЯ

А.А. Исмагилов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
almir-ismagilov@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук И.Ф. Галиев

Аннотация. В данной статье проведен анализ требований к схемам электроснабжения систем освещения на объекте Чемпионата мира по водным видам спорта – Дворец водных видов спорта. Приведены проектные решения для выполнения требований Международной федерации плавания (FINA) и обеспечения бесперебойного электроснабжения объектов международного уровня. Выявлены преимущества и недостатки приведенных проектных решений. Даны рекомендации по принятию технических решений при использовании дизель-генераторных установок.

Ключевые слова: источник бесперебойного питания, электрическая сеть, освещение, международные мероприятия, дизель-генераторная установка, требования Международного олимпийского комитета (МОК), FINA, нагрузка генераторов.

Бесперебойная работа спортивного освещения является залогом зрелищности телевизионной картинки и положительного восприятия соревнований телеаудиторией ЧМ–2015. Согласно требованиям FINA освещенность игровых зон соревновательных объектов должна составлять не менее 1400 люкс. Кроме того, имеются специфичные требования к системе спортивного освещения:

– постоянная цветовая температура;

– не допускается слишком яркий свет для спортсменов, камер и комментаторов;

– не разрешается стробоскопический эффект;

– отношение min/max освещенности – 1:1,5 (равномерность);

– отношение средней горизонтальной к вертикальной освещенности не должно превышать 2:1;

– минимальное отношение между освещенностью зоны зрителей и зоны соревнований 4:1;

– отсутствие бликов на камерах и комментаторских кабинах.

Однако до настоящего времени FINA четко не сформированы требования к электроснабжению систем спортивного освещения. Согласно требованиям FINA освещение относится к «бытовым» нагрузкам, наравне с оснащением офисов, офисным оборудованием. Данная группа электроприемников должна быть запитана от электрической сети и резервирована ДГУ либо ИБП. В случае отключения городской электрической сети необходимо обеспечить освещенность не менее 600 люкс.

Однако электроснабжение спортивного освещения от электрической сети не обеспечит гарантированного бесперебойного электроснабжения и требования по 600 люкс. Выполнить данные требования, возможно применив следующие проектные решения:

1. 50 % системы спортивного освещения в шахматном порядке запитать от городской сети, вторую половину – от генераторов (N+1). Данное решение соответствует требованиям МОК к электроснабжению систем спортивного освещения. Плюсами такого решения является: надежность, обеспечение равномерной освещенности в случае аварийного отключения одного из вводов, экономия генераторной мощности на время отсутствия соревнований. Минусами являются сложность изготовления и монтажа, необходимость внедрения данной схемы на этапе проектирования. По данной схеме целесообразно спроектировать и запитать освещение временных объектов.

2. Электроснабжение 100 % систем спортивного освещения от генераторов (N+1). Данное решение также является надежным. Основным минусом является дороговизна, необходимость безостановочной работы генераторов во время работы объекта и отсутствия соревнований. По данной схеме целесообразно запитать освещение постоянных объектов.

3. Электроснабжение 100 % систем спортивного освещения от городской сети с резервированием части освещения от источников бесперебойного питания. Данная схема достаточно надежна. Основными минусами такой схемы является: дороговизна, долгие сроки поставки ИБП, время работы ИБП под нагрузкой – не более 15–20 минут.

При расчете мощности дизель-генераторных установок необходимо принимать во внимание как суммарную потребляемую мощность нагрузки, так и рекомендации по минимально допустимому значению нагрузки, составляющему, как правило, 30 %. При длительной эксплуатации дизель-генераторных установок с меньшим значением нагрузки значительно уменьшается ресурс работы двигателя и требуются специальные мероприятия по техническому обслуживанию. Так, в период проведения Чемпионата мира по водным видам спорта в г. Казани в 2015 г. требования телевещательной компании EPC (Eurovision production coordination) включали в себя достаточно спорные требования по наличию двукратного запаса генераторных мощностей. При этом были представлены завышенные нагрузки, не подтвержденные в перспективе в процессе эксплуатации. Специалистами ОАО «Сетевая компания» было принято решение об установке дополнительных нагрузочных модулей для донагрузки генераторов до минимально допустимых 30 %. При этом

в качестве нагрузочников мощностью до 50 кВт были использованы тепловые пушки промышленного назначения. При выборе мощности дизель-генераторных установок в режимах N+1 необходимо учитывать мощность электроприемников, единовременно подключаемых к ней – она не должна превышать 50 %.

Выбор конкретных моделей источников бесперебойного питания производится на основе данных о текущем и прогнозируемом состоянии оборудования объектов и нагрузках, требующих подключения к сети гарантированного электропитания, в срок не позднее 5 месяцев до даты окончания монтажа. В случае подключения источника бесперебойного питания к городской сети или к дизель-генераторным установкам необходимо корректно установить настройки источников бесперебойного питания по допустимым пределам напряжения и частоты. Необходимо организовать систему постоянного мониторинга источников бесперебойного питания (преимущественно автоматизированную), предусмотреть систему кондиционирования в помещениях, где размещаются источники бесперебойного питания.

Как для дизель-генераторных установок, так и для источников бесперебойного питания необходимо иметь запас запасных частей и квалифицированный персонал со временем реагирования 15 мин.

Компоновка, подбор, проектирование схемы автономного электроснабжения на объекте Чемпионата мира по водным видам спорта – Дворец водных спорта осуществлялись в соответствии с предлагаемыми режимами.

Источники

1. URL: https://stroystandart.info (дата обращения: 25.12.2018).
2. URL: http://miropor.ru (дата обращения: 25.12.2018).
3. URL: https://bme-diesel.ru (дата обращения: 26.12.2018).

УДК 621.311.152

РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И ИХ УЧЁТ

И.И. Исмоилов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ismoiljon.0057@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук И.М. Валеев

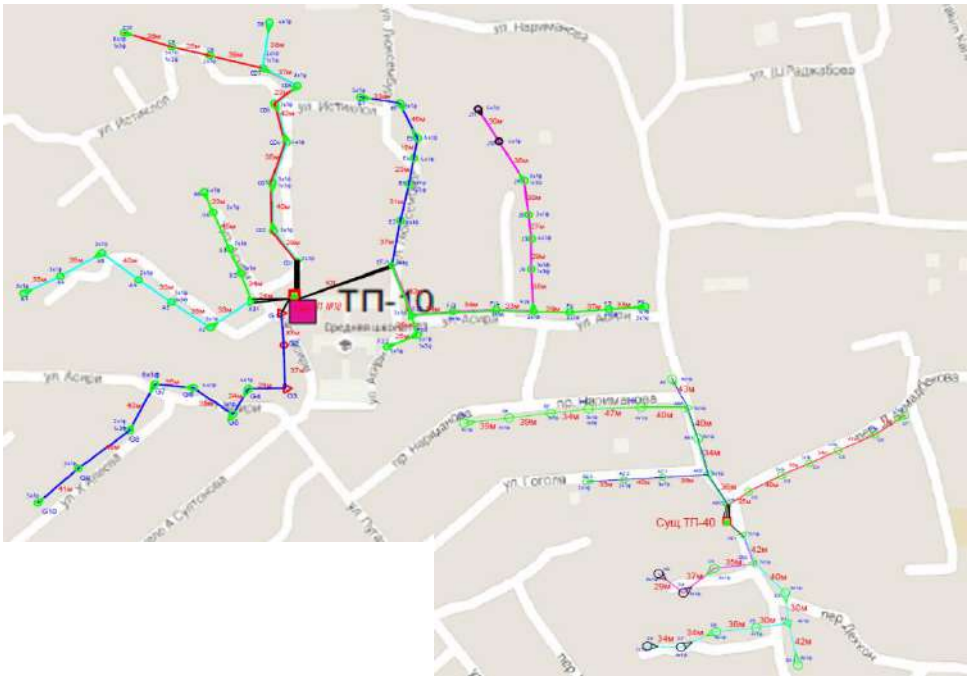
Аннотация. В работе приведены сведения о тарифах на расход электрической энергии и учёте её потребления электроприёмниками городских распределительных

сетей в летний и зимний периоды электроснабжения. По учёту потребления электроэнергии городских потребителей предлагается устранение неполадок в автоматизации приёма и передачи данных расхода электроэнергии отходящих линий 0,4 кВ.

Ключевые слова: приборы учёта электроэнергии, электроэнергия, распределительная сеть, потребители, учёт, расход электроэнергии.

В настоящее время все потребители электроэнергии (ЭЭ) (абоненты) Худжандских городских распределительных сетей снабжены приборами, позволяющими учитывать расход ЭЭ. В Республике Таджикистан установка и эксплуатация приборов учёта ЭЭ регламентируется по [1], и расчёты с электроснабжающей организацией производятся в соответствии с действующим прейскурантом № 09-01-2017 [2].

В работе [3] подробно описаны тарифы на потребление электроэнергии, проекты и структура реализации проектов по снижению потерь электроэнергии, рассмотрены учёт расхода электроэнергии городских потребителей и их анализ на ТП-10 и ТП-40.



– угловые анкерные опоры, 7 шт.;

– угловые анкерные опоры, 2 шт.;

– угловые промежуточные опоры, 5 шт.;

– угловые ответвительные опоры, 5 шт.;

– железобетонные промежуточные опоры, 13 шт.

Для учёта расхода ЭЭ потребителями рассмотрим данные регистраторов, установленных на трансформаторные подстанции ТП-10 и

ТП-40. На рис. 1 приведена траектория отходящих линий электропередачи потребителям ЭЭ рассматриваемых ТП. На ТП-10 установлены два силовых трансформатора. Номинальная мощность трансформаторов ТП-10: Т1-400 кВ·А и Т2-630 кВ·А, а на ТП-40 установлен один силовой трансформатор мощностью 630 кВ·А.

В соответствии с ветвями отходящих линий электропередач на рис. 1 от ТП-40 потребляемая активная мощность одного абонента равна 3,84 кВт. Суммарная активная мощность всех абонентов ТП-40 составляет 526,08 кВт, т.е. от них ЭЭ распределяется 137 абонентам.

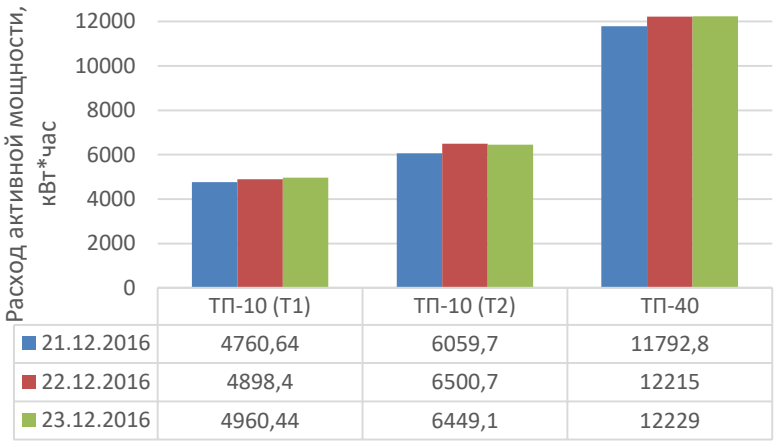
Учёт потребления ЭЭ по всем абонентам осуществляется цифровыми интеллектуальными счётчиками фирмы HEXING серии HXE производства Китайской народной республики. Общий вид интеллектуальных счётчиков приведен на рис. 2.

а) б) в)

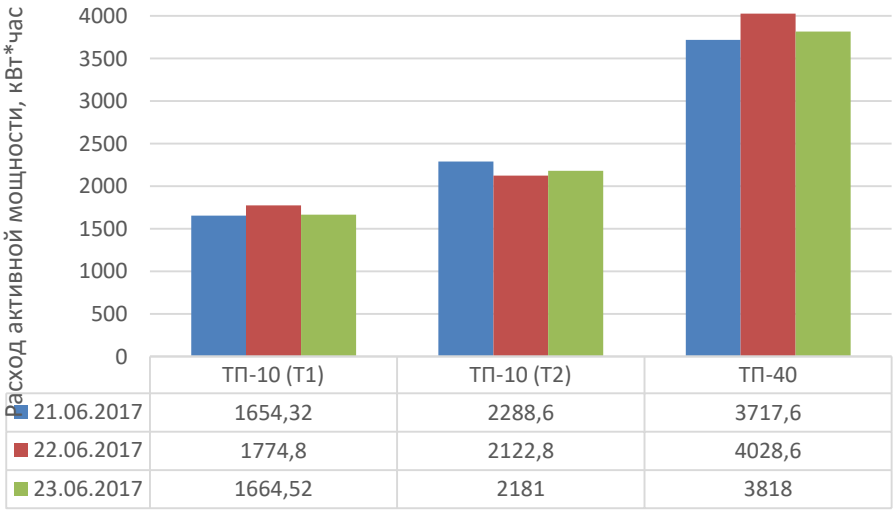
Рис. 2. Интеллектуальные счётчики серии HXE: а) модель HXE110; б) модель HXE310; в) модель HXF300

На всех трансформаторных подстанциях установлены счётчики типа HXF-300. Такие счётчики подключены через измерительные трансформаторы тока и напряжения. На вводах потребителей 0,4 кВ с однофазными электроустановками установлены счётчики типа HXE-110, а на потребителей с трёхфазными электроустановками установлены счётчики типа HXE-310.

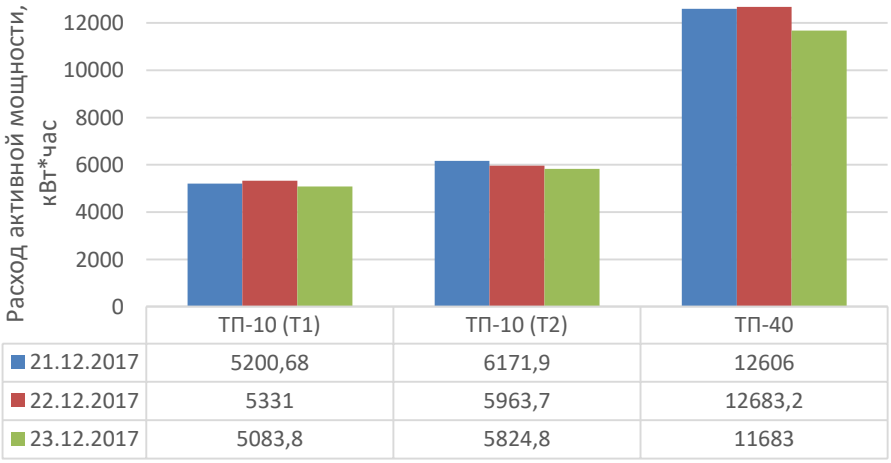
Стандартизация оборудований для замера электричества и её измерения интеллектуальными счётчиками моделей HXE110, HXE-310 и HXF-300 отвечают следующим стандартам [4–6]: IEC62052-11, IEC62053-22, IEC62053-23 (для замера электричества); IEC62056-21, IEC62056-42, IEC62056-46; IEC62056-47; IEC62056-53; IEC62056-61; IEC62056-62; EN50470-1; EN50470-3; IEC13757-2; IEC13757-3 (по измерению электричества).



а)



б)



в)

Рис. 3. Диаграммы электрических нагрузок на ТП-10 и ТП-40:
а) электрические нагрузки на 21–23 декабря 2016 г.;
б) и в) электрические нагрузки на 21–23 июня и 21–23 декабря 2017 г., соответственно

Интеллектуальные счётчики модели HXE110, HXE-310 и HXF-300 можно использовать в коммунальных предприятиях для построения

системы интеллектуального дома. Внутри счетчика установлено реле для контроля потребляемой мощности.

Рассматриваемые счётчики работают со встроенным программным обеспечением. Шифрование коммуникационных данных гарантирует предельно высокую надёжность связи. Четырёх-квадрантное измерение активной и реактивной энергии поддерживает 4 тарифа.

В настоящее время в ХГЭС применяется двухтарифная сетка по учёту расходуемой ЭЭ соответственно промышленными и непромышленными потребителями.

На рис. 3 приведены диаграммы изменения электрических нагрузок трансформаторов, рассматриваемых ТП-10 и ТП-40 по данным ХГЭС [3], потребление ЭЭ абонентами на 21–23 июня 2016–2017 гг. и 21–23 декабря 2017 г.

Из диаграмм, представленных на рис. 3, видно, что на ТП-10 расход ЭЭ потребителями трансформаторов Т1 и Т2 отличается, т.е. распределение электрических нагрузок происходит неравномерно. Это характеризуется тем, что мощность силовых трансформаторов Т1 и Т2 на ТП-10 неодинакова. В связи с чем на трансформаторе Т2 подключено большее количество потребителей.

На рис. 4 приведена диаграмма сравнения учёта расхода активной мощности потребителей ЭЭ на ТП-10 и ТП-40.

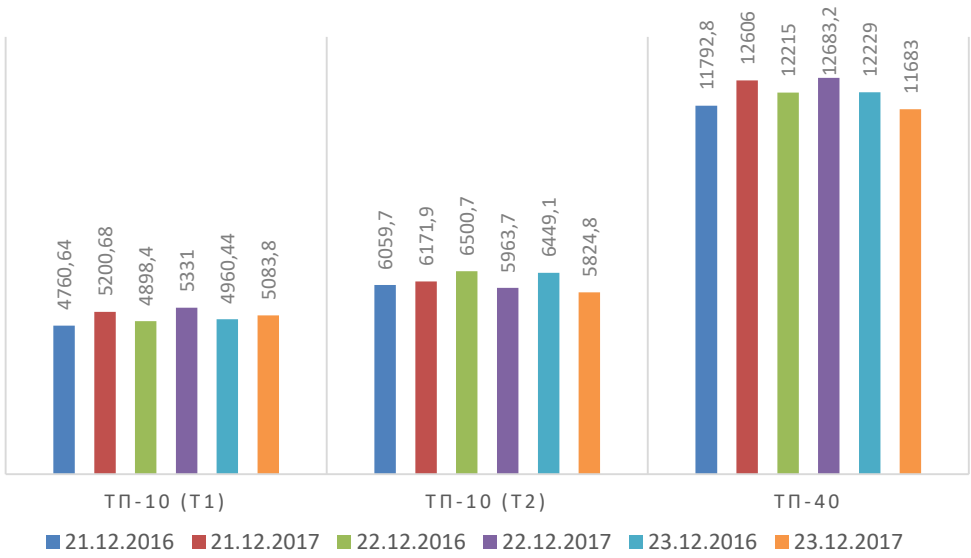


Рис. 4. Диаграмма сравнения учёта расхода активной мощности потребителей ЭЭ на ТП-10 и ТП-40

Для обеспечения надёжности электроснабжения и качества ЭЭ в двухтрансформаторных подстанциях должны устанавливаться два

силовых трансформатора одинакового типа, т.е. одинаковой мощности. Следовательно, для ТП-10 возникает вопрос о необходимости замены трансформатора Т1 мощностью 400 кВ·А на 630 кВ·А. Тогда между трансформаторами Т1 и Т2 на ТП-10 электрическую нагрузку можно будет распределить равномерно.

В таблице приведён результат расчёта коэффициента загрузки трансформаторов ТП-10 и ТП-40 на 22.12.2017 г. при cosφ = 0,98.

По полученным данных учёта потребления ЭЭ ТП-10 и ТП-40 видно, что значение коэффициента загрузки силового трансформатора Т2 на ТП-10 меньше нормативного. В случае подключения перспективных нагрузок потребителей на трансформатор Т2 коэффицент загрузки вырастет примерно до 0,6.

Значение коэффициента загрузки трансформаторов ТП-10 и ТП-40 на 22.12.2017 г. при cosφ = 0,98

ТП-10 (Т1-400 кВ·А) Рп, кВт	Sр, кВ·А	$k_з$	ТП-10 (Т2-630 кВ·А) Рп, кВт	Sр, кВ·А	$k_з$	ТП-40 (630 кВ·А) Рп, кВт	Sр, кВ·А	$k_з$
222,13	226,66	0,57	248,49	253,56	0,4	528,47	539,26	0,86

С целью равномерного распределения потребителей ЭЭ между ТП-40 и ТП-10 предлагается установка устройства автоматического переключения ветви АВ на ветвь F. Таким образом, можно разгрузить силовой трансформатор на ТП-40 и уравнивать коэффициент загрузки трансформаторов Т1 и Т2 на ТП-10 до 0,6. Следовательно, коэффициент загрузки трансформатора на ТП-40 снизится до 0,8.

Источники

1. Правила пользования электрической и тепловой энергией: утв. Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 6 марта 1998 г. № 84. Душанбе, 1998.

2. Прейскурант № 09-01-2017 «Тарифы на электрическую и тепловую энергию». Душанбе: ООО «Нигор», 2017. 36 с.

3. Исмоилов И.И., Каландаров Х.У. Учёт расхода электроэнергии городских потребителей и их анализ // Известия Тульского государственного университета. 2018. Вып. 9. С. 358–365. (Сер. «Технические науки»).

4. Руководство по эксплуатации HXE-110. Hexing, 2014. 77 с.

5. Руководство по эксплуатации HXE-310. Hexing, 2014. 76 с.
6. Руководство по эксплуатации HXF-300. Hexing, 2015. 70 с.
7. Руководство по эксплуатации концентратора данных HXET100. Hexing, 2015. 25 с.

УДК 621.3(075.8)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ВЛЭП И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМИ

А.И. Ихсанова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ihsanova.96@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук М.Ш. Гарифуллин

Аннотация. В данной статье рассматриваются актуальные на сегодняшний день вопросы воздействия электромагнитного поля ВЛЭП на человеческую среду обитания, на крупные города и мегаполисы, и приведены наиболее важные и распространенные способы улучшения электромагнитной обстановки.

Ключевые слова: электромагнитное поле, ВОЗ, электромагнитная обстановка, ЭМС.

Экологическое воздействие электромагнитных полей на окружающую среду и человека становится все более важным предметом исследования современного мира. Данный вопрос был введен в список как один из самых приоритетных в 1995 году Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Это еще раз доказывает, что эта тема весьма актуальна в мире, и ей придается большое значение.

На сегодняшний день во всем мире мы наблюдаем развитие технологий и инфраструктуры, быстрое увеличение объемов производства и, конечно же, линий электропередач (особенно, на высокое напряжение 500–750–1150 кВ). Они являются наиболее сильными возбудителями электромагнитных волн промышленной частоты 50 Гц и, соответственно, источниками электромагнитного загрязнения окружающей среды. Все эти процессы ведут к увеличению потребления энергии, которые неблагоприятно влияют на здоровье и самочувствие человека. Даже если были разработаны необходимые нормы и правила размещения воздушных линий вблизи населенных пунктов, наблюдается воздействие электромагнитного излучения на человека, потому что доставка электроэнергии, в основном, происходит по экономическим соображениям (самый дешевый способ передачи электроэнергии – передача по ВЛЭП). Сильное электромагнитное излучение также наблюдается вблизи ОРУ.

Воздействие электромагнитного поля (ЭМП) отрицательно отражается также на развитии сельского хозяйства, которые прилегают

к этой зоне, то есть, в большей степени, на биологические свойства почвы, при котором численность различных микроорганизмов уменьшается, активность, рост и развитие растений снижаются, почвогрунты уплотняются, биохимические процессы замедляются.

Влияние электромагнитного излучения на организм человека и животных начали изучать уже давно – со времен открытия этих полей, но точные механизмы воздействия до конца еще неизвестны.

Существует два вида магнитных полей: антропогенное и естественное. Естественным характерна большая площадь, но меньшая интенсивность, поэтому антропогенные поля имеют более отрицательное воздействие и они сильнее природных, если учитывать быстро прогрессирующий на сегодняшний день технический прогресс. При длительном интенсивном воздействии нарушается ритм сокращений сердца, активность мозга, уровень кровяного давления, снижается иммунитет. Воздействие ЭМП наибольшее в середине пролета ЛЭП, потому что провода в этом месте находятся максимально близко к почве, а наименьшее – рядом с опорами, где наибольшая высота, и имеется экранирование. Экспериментально было установлено, что безопасное воздействие тока на человека происходит при отметке плотности тока равном 0,1 мкА/см, так как биотоки мозга превышают эту цифру. Человек, проживающий вблизи ЛЭП и ТП, может почувствовать изменение в функциональном состоянии нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной систем, нарушение обменных процессов и иммунитета.

Безопасная территория вдоль линий электропередач называется защитной или охранной зоной. Ее размеры выбираются в зависимости от значения напряжения ВЛЭП. Например, согласно ГОСТ длина защитной зоны для ЛЭП 10 кВ установлена 3 м. Человек, который работает на поле вблизи ЛЭП 500–735 кВ, находится в зоне действия электромагнитного поля с напряжённостью более 10 кВ/м, безопасное время составляет не более трех часов. Для улучшения электромагнитной обстановки на электроэнергетических объектах разрабатываются и осуществляются следующие защитные мероприятия:

1. Оптимизация заземляющего устройства, в том числе установка вертикальных заземлителей для объектов грозозащиты, разрядников и ОПН, улучшение систем заземления по современным требованиям.

2. Оптимизация систем питания: отделение цепи заземления от нуля, снижение токов утечки, введение в работу стабилизаторов, вторичных источников.

3. Обеспечение правильной прокладки вторичных цепей по условиям ЭМС: отделение прокладки информационных цепей от силовых; установка экрана, использование барьерных заземлителей.

4. Установка УЗ от перенапряжений. Они выполняются на базе силовых элементов с сильно нелинейной ВАХ: разрядников, варисторов, стабилитронов и т.п. Она позволяет организовать канализацию импульсных помех по схеме «провод-провод» или «провод-земля», не позволяя им достигнуть входов аппаратуры.

5. Экранирование чувствительной аппаратуры.

Таким образом, проблема экологии электромагнитного излучения в настоящее время весьма актуальна, и во всем мире сейчас идет борьба с ним. К данному вопросу надо отнестись очень внимательно, так как одна незначительная ошибка может испортить дорогую и надежную электронную часть схемы или нанести вред здоровью человека.

Источники

1. Аполлонский С.М., Каляда Т.В., Синдаловский Б.Е. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях. М.: Политехника, 2014. 264 с.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник. М.: Гардарики, 2012. 602 с.

3. Системный подход к анализу мероприятий, повышающих надёжность энергетических объектов / Г.А. Данилов [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 357–362.

4. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. 240 с.

УДК 621.311.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ 10/0,4 кВ

А.И. Ишбулатова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
azaliya-mai@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук В.В. Максимов;
д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов

Аннотация. В статье представлено исследование витковых замыканий в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ. Описываются основные причины их возникновения и факторы, влияющие на их развитие. Представлен анализ причин выходов из строя силовых трансформаторов 10/0,4 кВ в ходе эксплуатации в сетях компании ПАО «СУЭНКО». Произведен анализ различных защит трансформаторов для выявления наиболее подходящей в решении проблемы регистрации витковых замыканий.

Ключевые слова: силовой трансформатор, витковое замыкание, регистрация витковых замыканий, повреждения в трансформаторах, защита трансформатора, чувствительность защиты, эксплуатация трансформаторов.

Электрические сети среднего напряжения имеют сложную разветвленную иерархию, состоящую из главных магистральных линий электропередач (ЛЭП), или фидеров, и отходящих от них линий. Ввиду такой топологии сетей, позволяющих охватить большое количество бытовых потребителей электроэнергии, наблюдается разрозненное распределение комплектных трансформаторных подстанций (КТП) среднего напряжения на протяженных территориях. В большинстве своем такие КТП содержат в себе один силовой трансформатор 6(10)–35/0,4 кВ мощностью от 25 до 1000 кВА.

Вследствие разветвленности сетей уменьшается надежность электроснабжения потребителей, так как в случае аварии, например, на одной из многочисленных отпаек произойдет отключение всех потребителей, подключенных к фидеру. Подобное, несомненно, наносит социальный ущерб электропотребителям, а также влечет экономические потери сетевых организаций в виде недоотпуска электроэнергии. Наибольшее количество аварий в сетях среднего напряжения происходит в ЛЭП [1], однако возникают ситуации, при которых причинами отключения электроснабжения потребителей являются аварии в силовых трансформаторах.

В данной работе рассматриваются факторы, влияющие на возникновение и формирование витковых замыканий (ВЗ) в силовых трансформаторах. Хотя режим работы трансформатора с ВЗ не рассматривается как аварийный, он может послужить началом для развития тяжелых аварий, результаты которых приведут к необходимости в замене силового оборудования. Поэтому для предупреждения поломок трансформатора и, соответственно, аварий в сети актуальна, помимо прочего, диагностика ВЗ, что позволит вовремя отреагировать сотрудникам электросетевых организаций, и, тем самым, минимизировать время перерыва электроснабжения потребителей, вызванное ремонтными работами. Помимо методов частотного анализа [2] для выявления ВЗ возможно использование защит силового трансформатора, хотя это и является менее точным способом. В связи с этим в данной работе также рассматриваются различные варианты защиты трансформатора и определяется чувствительность, которая позволит регистрировать ВЗ.

В трансформаторах 10/0,4 кВ повреждения витковой изоляции по месту замыкания подразделяются на межвитковые, межслойные

и межкатушечные замыкания обмоток. Причем известно, что два последних вида замыкания начинаются именно с межвиткового замыкания. Выделяют различные группы факторов, влияющих на возникновение витковых замыканий:

– низкая организация производства и эксплуатации трансформатора: возникновение дефектов при эксплуатации, производстве и др.;

– старение изоляции: механическое, тепловое и др.;

– перенапряжения: грозовые, внутренние и др.

Рассмотрим, какова частота возникновения повреждений, в целом, и, в частности, ВЗ в трансформаторах на примере данных, представленных Шадринскими электрическими сетями (ШЭС) ПАО «СУЭНКО» за 2013 – 2017 гг. На балансе ШЭС находятся 1761 трансформаторов 10/0,4 кВ с разбросом номинальных мощностей от 25 до 1000 кВА. Места их установок находятся преимущественно в сельской местности.

В табл. 1 представлены данные о влиянии тех или иных факторов, описанных выше, на общее количество повреждений силовых трансформаторов 10/0,4 кВ.

Таблица 1

Причины повреждения силовых трансформаторов 10/0,4 кВ в ШЭС за 2013 – 2017 гг.

Причины повреждений	Доля, %
Заводские дефекты	35,0
Низкая организация эксплуатации	20,5
Некачественный ремонт или монтаж	18,0
Грозовые перенапряжения	5,5
Старение изоляции	10,0
Итого	**100,0**

Согласно представленным данным, наиболее распространенной группой факторов, вызывающей отказ трансформаторов, является низкая организация производства и эксплуатации, составляющие, в совокупности, 73,5 % от общего числа повреждений. Статистические данные видов повреждения силовых трансформаторов представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что наиболее частым видом повреждения в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ является именно ВЗ.

Зачастую небольшие ВЗ остаются незамеченными, однако при долгой работе силового трансформатора с таким повреждением неизбежно развитие других, более тяжелых аварий. Помимо прочих методов для

выявления ВЗ используются различные виды защит трансформаторов, однако не все они обладают достаточной чувствительностью. Ниже приведена табл. 3, отображающая чувствительности защит трансформаторов к ВЗ.

Таблица 2

Виды повреждения силовых трансформаторов 10/0,4 кВ в ШЭС за 2013 – 2017 гг.

Виды повреждений	Число повреждений	
	шт.	%
Междуфазные замыкания	8	5,3
Витковые замыкания	67	44,0
Повреждения переключателей ответвлений	21	13,8
Повреждения вводов	31	20,4
Обрыв отводов	7	4,6
Другие виды	18	11,9
Итого	**152**	**100,0**

Таблица 3

Чувствительность защит к витковым замыканиям в обмотках трансформатора 10/0,4 кВ

Вид защиты	Ток чувствительности, кратный $I_{ном}$	Чувствительность при малой доле замкнутых витков
Плавкие вставки	2 $I_{ном}$	–
МТЗ (на микропроцессорной базе)	1,3 $I_{ном}$	–
ТО (на микропроцессорной базе)	5–7 $I_{ном}$	–
ДЗТ (на электромеханической базе) с действием на отключение	1,5 $I_{ном}$	–
ДЗТ (на микропроцессорной базе) с действием на отключение	0,3 $I_{ном}$	–
ДЗТ (на микропроцессорной базе) с действием на сигнал	0,1 $I_{ном}$	+
Газовая защита	–	+

Из табл. 3 видно, что достаточной чувствительностью для выявления ВЗ обладают лишь ДЗТ (на микропроцессорной базе) с действием на сигнал и газовая защита.

Перспективным также является изучение влияния наличия ВЗ в силовом трансформаторе на коэффициент трансформации.

Источники

1. Обзор аварий в ОАО «МРСК Северо-Запада» за 2011 год [Электронный ресурс] // МРСК Северо-Запада. URL: http://old.mrsksevzap.ru/files/14478/MMOzhsv8yvkwCeMUKdPahF8ZQPAkVh.pdf (дата обращения: 24.01.2019).

2. Barzegaran M.R., Mirzaie M. Detecting the Position of Winding Short Circuit Faults in Transformer Using High Frequency Analysis // European Journal of Scientific Research. November. 2008. Vol. 23. № 4. Pp. 645–659.

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Л.И. Камалиева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
KamalievaLI@sov-tech.ru
Науч. рук. канд. техн. наук И.Ф. Галиев

Аннотация. В тезисе представлено описание выбора схемы выдачи мощности с технико-экономическим обоснованием.

Ключевые слова: мини-ТЭЦ, надежность, мощность, линия электропередач, энергетика, затраты.

В настоящее время малая энергетика переживает период развития. Распространение малой энергетики обусловлено тем, что производство электроэнергии в месте ее потребления экономически выгодно. Однако главный фактор – малые капитальные вложения при таком производстве энергии. К развитию автономного энергоснабжения ведет либерализация рынка электроэнергии.

Использование современных газовых двигателей может обеспечить высокий электрический КПД ТЭЦ. У хороших двигателей КПД в диапазоне от 100 % до 60 % практически не изменяется. При небольших колебаниях тепловой нагрузки применение таких двигателей на промышленных и отопительных ТЭЦ очень выгодно. При среднесрочных изменениях тепловой нагрузки тепло можно аккумулировать в водяных баках. При сезонных колебаниях тепловой нагрузки его можно аккумулировать в водоносных горизонтах.

Одной из важнейших задач при построении мини-ТЭЦ является выбор схемы выдачи мощности с технико-экономическим обоснованием. Работа направлена на исследование вопроса при выборе схем выдачи

мощности газо-поршневых мини-ТЭЦ по таким критериям, как фактор надежности и экономическая целесообразность. На данном этапе работе рассмотрим 2 варианта схем выдачи мощности.

Использование существующих линий 10 кВ для передачи генерируемой мощности проектируемого мини-ТЭЦ не предусматривается ввиду недостаточного их сечения для передачи всей генерируемой мощности. Для передачи генерируемой мощности через существующие линии необходима либо их реконструкция и модернизация, либо оснащение устройствами РЗиА, не допускающими перегрузки этих линий и работающими на отключение перегруженных линий.

Данным вариантом предусматривается два подварианта:

– строительство четырех кабельных линий на напряжение 10 кВ с присоединением их на шины 10 кВ ПС;

– модернизация кабельных линий 10 кВ СЭ от проектируемого мини-ТЭЦ до ПС.

Ниже графически представлены соответствующие варианты сети 10 кВ (рис. 1 и рис. 2).

Затраты на строительство четырех кабельных линий на напряжение 10 кВ с присоединением их на шины 10 кВ ПС приведено в табл. 1.

Таблица 1

Затраты на строительство кабельных линий

Статья затрат	Сумма затрат
Ориентировочные затраты на распредустройство (РУ)	
Строительство	7 200 000 руб.
Строительно-монтажные работы и пусконаладочные работы	5 760 000 руб.
Ежегодные затраты (эксплуатационные расходы)	1 080 000 руб.
Ориентировочные затраты на кабельную линию (КЛ)	
Строительство	26 284 608 руб.
Строительно-монтажные работы и пусконаладочные работы	21 027 686 руб.
Ежегодные затраты (эксплуатационные расходы)	2 628 460 руб.

Ущерб от недоотпуска электроэнергии составляет величину мало отличную от нуля (менее 1000 руб. в год).

Данный вариант характеризуется минимальным уровнем недоотпуска электроэнергии потребителям, что связано с высокой надежностью системы передачи электроэнергии на ПС. Вместе с тем, в данном варианте нет возможности передавать генерируемую электроэнергию на другую ПС ОАО «Сетевая компания» без дополнительных капиталовложений. Дополнительные капиталовложения

(с целью дальнейшей передачи электроэнергии) составят не менее 35 млн руб. (без учета дополнительного оборудования на принимающей электроэнергию ПС).

Следует отметить, что при использовании двух магистральных КЛ вместо четырех уровень недоотпуска может составить от 88 580 руб. в год.

Достоинства варианта:

– низкая стоимость строительства и эксплуатации;

– высокая надежность.

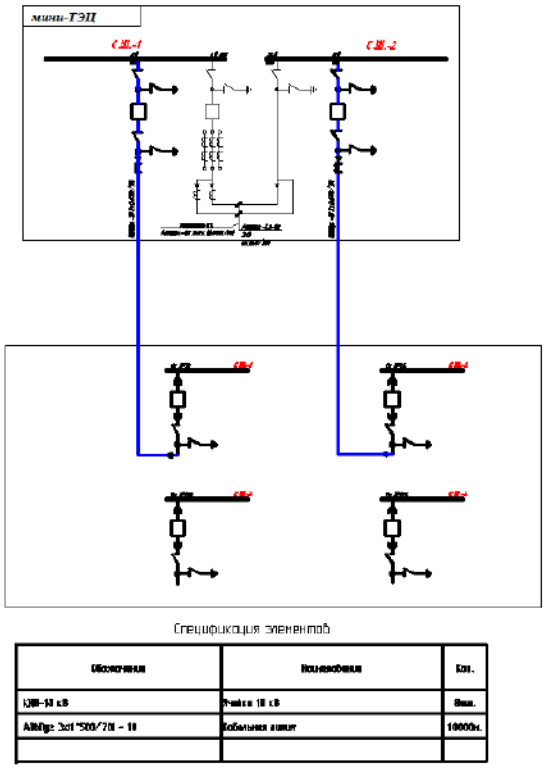


Рис.1. Ввод мощности до шин 10 кВ ПС от мини-ТЭЦ по сетям 10 кВ

Недостатки варианта:

– сложность в организации передачи электроэнергии на напряжение 10 кВ;

– использование сетей сторонней организации.

Затраты на модернизацию кабельных линий от мини-ТЭЦ до ПС приведены в табл. 2.

Ущерб от недоотпуска электроэнергии составляет величину, мало отличную от нуля (менее 1000 руб. в год). Данный вариант также характеризуется минимальным уровнем недоотпуска электроэнергии потребителям, В данном варианте также нет возможности передавать генерируемую электроэнергию на другую ПС ОАО «Сетевая компания» без дополнительных капиталовложений. Дополнительные капиталовложения

(с целью дальнейшей передачи электроэнергии) составят, как и в предыдущем варианте, не менее 35 млн руб. (без учета дополнительного оборудования на принимающей электроэнергию ПС).

Таблица 2

Затраты на модернизацию кабельных линий

Статья затрат	Сумма затрат
Ориентировочные затраты на распредустройство (РУ)	
Строительство	10 800 000 руб.
Строительно-монтажные работы и пусконаладочные работы	8 650 000 руб.
Ежегодные затраты (эксплуатационные расходы)	1 620 000 руб.
Ориентировочные затраты на кабельную линию (КЛ)	
Строительство	21 903 840 руб.
Строительно-монтажные работы и пусконаладочные работы	17 523 072 руб.
Ежегодные затраты (эксплуатационные расходы)	2 190 384 руб.

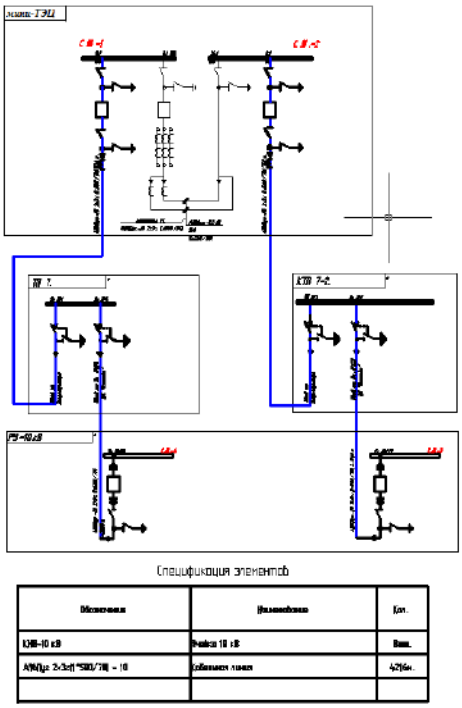


Рис. 2. Ввод мощности до шин 10 кВ ПС от мини-ТЭЦ по существующим сетям 10 кВ с модернизацией линий электропередачи

Источники

1. Хусаинов Р.Р. Работа ТЭЦ в условиях оптового рынка электрической энергии // Энергетик. 2008. № 6. С. 5–9.

2. Ковалев Л.И. Эффективность газодвигательных мини-ТЭЦ // Энергетик. 2009. № 3. С. 26–29.

3. Назаров В.И. К вопросу расчета обобщенных показателей на ТЭЦ // Энергетика. 2007. № 6. С. 65–68.

УДК 621.315.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В.А. Касимов[1], Ю.В. Писковацкий[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2]vasilkasimov@yandex.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук Р.Г. Минуллин;
канд. физ.-мат. наук Т.К. Филимонова

Аннотация. Рассматривается локационный метод обнаружения гололёдно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи. Приводятся результаты влияния гололёдных отложений на параметры отраженных локационных сигналов. Предложен метод определения толщины стенки и плотности гололёдно-изморозевых отложений при локационных измерениях.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, гололёдные отложения на проводах, локационное зондирование, затухание и задержка отраженного сигнала.

Гололедно-изморозевые отложения (ГИО) на проводах линий электропередачи (ЛЭП) при достижении сверхнормативных значений массы отложений представляют угрозу для целостности линий электропередачи, вызывая дополнительную механическую нагрузку на провода и грозозащитные тросы линий электропередачи, и могут вызывать их обрывы. Допустимые размеры нормативных гололедно-изморозевых отложений определяются конструктивными параметрами линии. При образовании гололедно-изморозевых отложений со сверхнормативными размерами необходимо проведение специальных мероприятий для освобождения от них линий электропередачи. Для этого применяется плавка гололедно-изморозевых отложений повышенными электрическими токами, которые разогревают провода и проплавляют гололедно-изморозевые отложения. Плавка является дорогостоящей процедурой, так как сопровождается большими энергозатратами, кроме того сопровождается отключением потребителей и нарушением требований бесперебойности электропитания промышленных потребителей. В связи с этим необходима оперативная информация о динамике нарастания гололедно-изморозевых отложений и их критических размерах с целью проведения упреждающих плавок при

возникновении угрозы аварии, а также для сокращения времени плавки при исчезновении угрозы обрыва проводов и грозозащитных тросов линий электропередачи.

На проводах и грозозащитных тросах линий электропередачи могут образовываться как гололедные отложения (с плотностями около 900 кг/м^3), так и изморозевые отложения (с меньшими плотностями). Причем при одинаковой погонной массе гололедно-изморозевые отложения с меньшей плотностью представляют большую угрозу целостности линий электропередачи, так как помимо одинаковой гололедной нагрузки они дополнительно вызывают большую ветровую нагрузку на провода и грозозащитные тросы линий электропередачи из-за большего диаметра (парусности) отложений.

Один из принципов обнаружения и контроля гололедообразования на проводах основан на том, что ГИО вызывают изменения амплитудно- и фазочастотной характеристик (АЧХ и ФЧХ) ЛЭП, т.е. вызывают изменения затухания $\Delta\alpha$ и скорости распространения $\Delta\nu$ высокочастотных импульсных сигналов по ЛЭП. Изменение скорости распространения $\Delta\nu$ сигналов, в свою очередь, вызывает появление их запаздывания $\Delta\tau$ при распространении в ЛЭП.

Изменения затухания $\Delta\alpha$ и запаздывания $\Delta\tau$ высокочастотных сигналов по ЛЭП зависят от конструктивных параметров ЛЭП (радиуса проводов r, расположения проводов, расщепления фазных проводов, схемы организации высокочастотного тракта и других), от частоты сигнала f и от параметров ГИО (толщины стенки b, плотности ρ, температуры θ, протяженности l).

На проводах могут образовываться различные типы гололедных отложений. Они имеют разные диэлектрические свойства и, соответственно, разное влияние на распространение ВЧ сигналов по ЛЭП.

Для определения комплексной диэлектрической проницаемости различных типов гололедных отложений они представляются в виде смеси воздуха и льда, чтобы подчеркнуть зависимость от типа отложения, далее под термином «снег» понимается смесь воздуха и льда.

Для определения диэлектрической проницаемости снега используется зависимость Винера для смеси. Для снега (смеси воздуха и льда) она имеет вид:

$$\frac{\varepsilon_{\text{снега}} - 1}{\varepsilon_{\text{снега}} + u} = \frac{\rho_{\text{снега}}}{\rho_{\text{льда}}} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{льда}} - 1}{\varepsilon_{\text{льда}} + u}; \qquad (1)$$

$$\varepsilon_{\text{снега}} = \frac{(u\rho_{\text{снега}} + \rho_{\text{льда}})\varepsilon_{\text{льда}} + u(\rho_{\text{льда}} - \rho_{\text{снега}})}{(\rho_{\text{льда}} - \rho_{\text{снега}})\varepsilon_{\text{льда}} + (u\rho_{\text{льда}} + \rho_{\text{снега}})}; \quad (2)$$

$$\varepsilon'_{\text{снега}} = \mathrm{Re}(\varepsilon_{\text{снега}}); \varepsilon''_{\text{снега}} = -\mathrm{Im}(\varepsilon_{\text{снега}}), \quad (3)$$

где u – определяется структурой смеси (рис. 1).

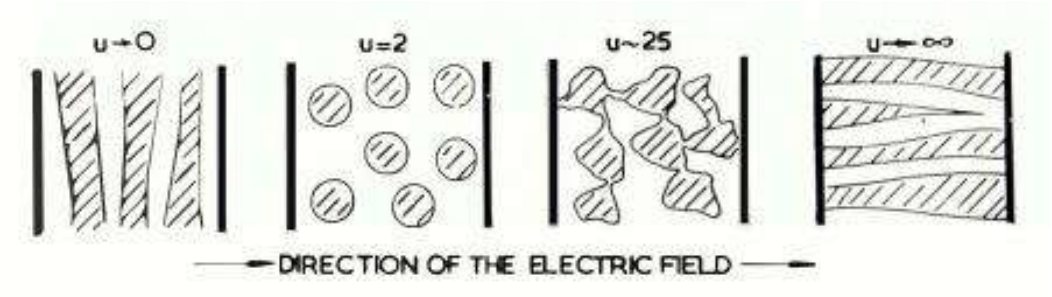


Рис. 1. Коэффициент u для различных структур снега [1]

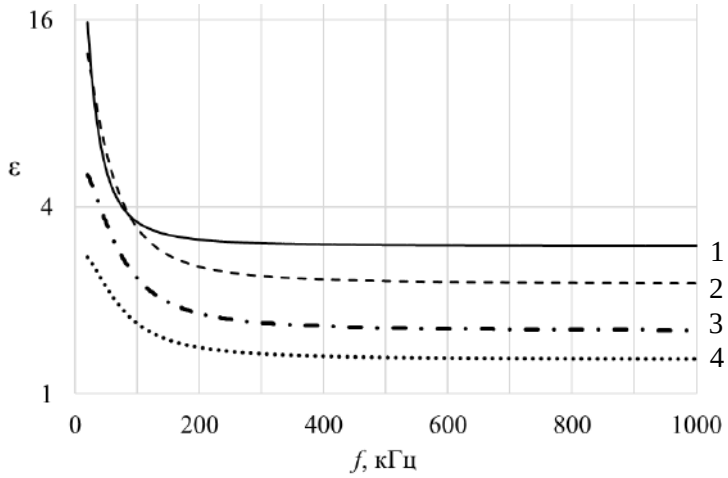


Рис. 2. Зависимость от частоты сигнала f вещественной части диэлектрической проницаемости ГИО ε' с плотностью ρ = 0,9 (1), 0,6 (2), 0,3 (3), 0,15 (4) г/см^3 (u = 10, θ = 0 °C)

На рис. 2 представлены частотные зависимости вещественной части относительной диэлектрической проницаемости льда с плотностью ρ = 0,9, 0,6, 0,3, 0,15 г/см^3 от частоты сигнала (от 16 кГц до 1000 кГц). Как видно из рис. 3, вещественная часть относительной диэлектрической проницаемости льда зависит от частоты, но в интервале частот от 400 кГц до 1000 кГц она остаётся постоянной и для плотности 0,9 г/см^3 ε' равна 3; для 0,6 г/см^3 ε' равна 2,27; для 0,3 г/см^3 ε' равна 1,6; для 0,15 г/см^3 ε' равна 1,3.

Следует подчеркнуть, что при изменении плотности ρ отложений будет изменяться частота *f*, на которой достигается максимум тангенса диэлектрических потерь tgδ, как показано на рис. 3.

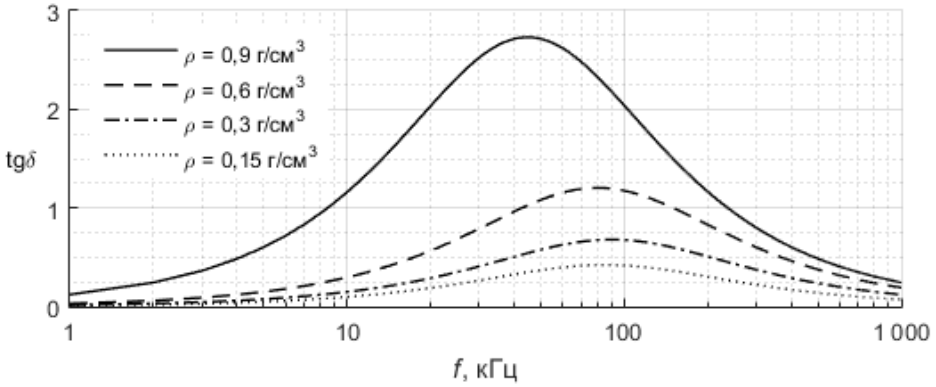


Рис. 3. Зависимость от частоты сигнала *f* тангенса угла диэлектрических потерь tgδ для ГИО с плотностью ρ 0,9, 0,6, 0,3, 0,15 г/см^3 (*u* = 10, θ = 0 °С)

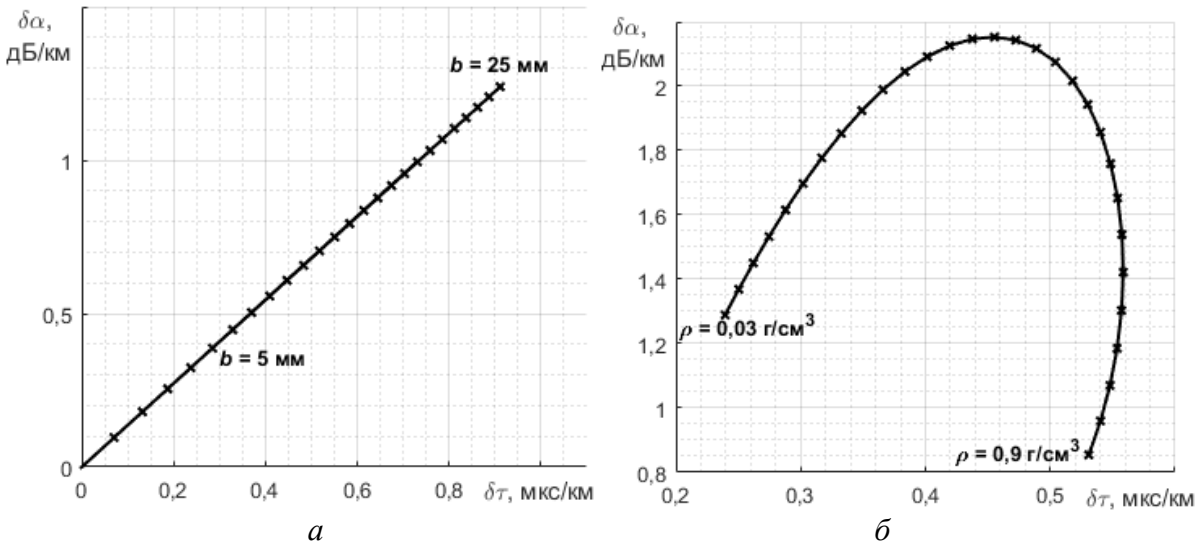


Рис. 4. Взаимосвязь значений погонных затухания δα и запаздывания δτ отраженных локационных сигналов при вариациях параметров:
а – толщины эквивалентной стенки ГИО, *b* (0–25 мм),
б – плотности ГИО ρ (0,03–0,9 г/см^3)

Таким образом, затухание и запаздывание локационных сигналов будет зависеть от плотности ρ и толщины эквивалентной стенки *b* гололедно-изморозевых отложений. На рис. 4 приведены графики изменения погонных затухания δα и запаздывания δτ в зависимости от этих параметров.

Как видно на рис. 4, *а* взаимосвязь δα и δτ при изменении эквивалентной стенки *b* линейна, т.е. оба параметра сигнала δα и δτ либо

синхронно растут (при увеличении стенки *b*), либо синхронно уменьшаются (при уменьшении стенки *b*).

Согласно данным на рис. 4, *б* с уменьшением плотности ГИО ρ затухание δα и запаздывание δτ сначала увеличиваются, затем δτ достигает максимума при плотности ρ = 0,4–0,5 г/см^3 и затем начинает уменьшаться, после этого достигает максимума δα при плотности ρ = 0,1–0,2 г/см^3 и начинает уменьшаться. Минимальное значение δα получается при ρ = 0,9 г/см^3, т.е. для чистого льда. А минимальное значение δτ достигается при минимальной плотности (порядка 0,03 г/см^3), т.е. для кристаллической изморози.

Итак, согласно выполненным расчетам и экспериментам гололедно-изморозевые отложения с одинаковой массой, но с разными плотностями вызывают различные изменения АЧХ и ФЧХ высокочастотного тракта ЛЭП.

Локационным методом путем численного решения обратной задачи могут быть определены толщина стенки и плотность гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП. Значения толщины стенки и плотности определяют значение погонной массы ГИО на проводах. Благодаря определению погонной массы ГИО, может быть обеспечена своевременная сигнализация о необходимости плавки ГИО при возникновении угрозы целостности ЛЭП, а также предотвращены преждевременные плавки при размерах ГИО, не представляющих угрозу аварии. Также может быть предусмотрена сигнализация об окончании плавки.

Кроме того, при использовании коммутатора линий контроль размеров ГИО на проводах всех ЛЭП подстанции может осуществляться одним локационным устройством.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по Соглашению № 14.574.21.0141 от 26 сентября 2017 года, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57417X0141.

Источники

1. Evans S. Dielectric properties of ice and snow-A review // Journal of Glaciology. 1965. Vol. 5. Pp. 773–792.

УДК 621.316.722

МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 0,4–10 кВ

В.А. Крюкова[1], Е.Н. Лобанова[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2]victoria131113@gmail.com
Науч. рук. д-р техн. наук М.Ш. Гарифуллин

Аннотация. Применение устройств для регулирования напряжения в сетях 0,4–10 кВ значительно увеличивает такой показатель, как качество электроэнергии. Однако, согласно статическим характеристикам нагрузки, увеличение напряжение ведет за собой большее потребление мощности, что увеличит прибыль генерирующих компаний.

Рассматривались методы повышения напряжения в сетях 0,4–10 кВ путем установки синхронных компенсаторов (синхронные двигатели), батарей статических конденсаторов и вольтодобавочных трансформаторов.

Определили условия, при которых целесообразно устанавливать ВДТ, БСК и СД для регулирования напряжения в сети 0,4–10 кВ.

Исходя из рассмотренных технических средств, наиболее удобными к установке являются ВДТ и БСК, так как они не требуют непрерывного осмотра, быстры в установке и могут быть установлены в любой точке сети. СД имеет вращающие части, что затрудняет его эксплуатацию и установку.

Ключевые слова: регулирование напряжения, вольтодобавочный трансформатор, батарея статических конденсаторов, синхронный двигатель.

На сегодняшний день износ распределительных сетей в России, по многим оценкам, превышает 70 %. Значительная часть оборудования, имеющая большое значение для распределительных сетей, в некоторых случаях отслужила два и более нормативных срока [1].

С ростом урбанизации и развития технологий в мире продолжается рост потребляемых мощностей. Изношенные распределительные сети 0,4–10 кВ, спроектированные в конце прошлого века, не справляются с ростом потребляемой мощности. Происходит ухудшение показателей качества электроэнергии: наблюдается нестабильность напряжения, значительные потери, падение напряжения удаленных потребителей. В сельских районах, где протяженность ЛЭП велика, напряжение сети может уменьшиться до критического значения. Вследствие чего, в электросетевые компании поступают претензии на качество электроэнергии и выполнение технологического присоединения потребителей. Для сетевых компаний соблюдение допустимого значения напряжения является актуальной проблемой. В быту и на производстве используется множество электроприборов, которые чувствительны к отклонениям напряжения от нормативного уровня.

Оптимальный способ решения данной проблемы – разукрупнение центров питания и построение разветвлённой сети 0,4 кВ. Однако сетевые компании не всегда в состоянии провести плановую реконструкцию. Одним из возможных путей решения данной проблемы является установка нового электрооборудования, которое позволяет решить проблему поддержания нормальных показателей качества электроэнергии у потребителей. К такому можно отнести синхронные компенсаторы (синхронные двигатели (СД)), батареи статических конденсаторов (БСК) и вольтодобавочные трансформаторы.

При работе СД в режиме перевозбуждения реактивная мощность создает отрицательное по величине падение напряжения в питающей сети, определяемое зависимостью:

$$-\Delta U = \frac{Q \cdot \sum x}{U_{\text{н}}}, \text{ В},$$

где Q – реактивная мощность СД при опережающем коэффициенте мощности, кВар; $\sum x$ – суммарное приведенное реактивное сопротивление тех участков сети, на которых в результате работы двигателя снижаются величина перетока реактивной мощности, Ом.

Это позволяет регулировать напряжение в сети посредством изменения, отдаваемой в сеть двигателем реактивной мощности.

БСК на напряжение 10 кВ выпускают однофазными, а на напряжение 0,4 кВ – трехфазными, соединением в треугольник. Обычно батареи разбиваются на группы, которые включаются по мере надобности, независимо друг от друга, при этом напряжение регулируется ступенями в отличие от плавного регулирования СД.

Конденсаторы не требуют непрерывного наблюдения и ухода, так как они не имеют вращающихся частей. Потери мощности в СД в 10–12 раз больше потерь в синхронных конденсаторах. Так же к плюсам конденсаторных батарей можно отнести то, что они могут быть выполнены как передвижные, что значительно облегчает их использование в различных точках сети. К минусам можно отнести зависимость реактивной мощности от квадрата подведенного напряжения:

$$Q_C = U^2 2\pi f C \cdot 10^{-9}, \text{ кВар},$$

где U – рабочее напряжение, кВ; f – частота, Гц; C – емкость, мкФ.

БСК в установках напряжением до 1000 В включаются в сеть и отключаются от сети с помощью рубильников или автоматических

выключателей, а применяемые в установках напряжением выше 1000 В включаются в сеть и отключаются от сети только посредством выключателей или выключателей нагрузки [2].

ВДТ представляет собой трехфазный автотрансформатор, состоящий из трех однофазных, снабженный блоком управления. Задача блока анализировать выходное и входное напряжения, осуществлять защиту от аварийных режимов и поддерживать нужное значение напряжения на выходе.

Вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) применяются для местного регулирования напряжения, напряжение в линии, в котором он установлен, отличается от напряжения питающей сети на величину добавочной ЭДС последовательного трансформатора. Регулирования напряжения в ВДТ осуществляется ступенями, плавность регулирования зависит от числа регулировочных ответвлений питающего трансформатора. Также ВДТ позволяет получить добавочную ЭДС, сдвинутую по фазе относительно основного напряжения, угол сдвига зависит от схемы включения, что выделяет его среди СД и БСК. Главным достоинством ВДТ 0,4–10 кВ является возможность минимизировать количество жалоб, получаемых сетевыми компаниями, в сжатые сроки.

Вольтодобавочные трансформаторы целесообразно применять как временное оперативное решение проблемы низкого напряжения на ВЛ 0,4 кВ большой протяженности (более 1 км), если невозможно разукрупнение ВЛ из-за крупных материальных затрат и невозможности выполнения в быстрые сроки. Как окончательное решение ВДТ могут применяться при отсутствии возможности разукрупнения ВЛ в стесненных условиях, где нет возможности подвода сети 10(6) кВ и установки дополнительной КТП или затраты на разукрупнение ВЛ в несколько раз превышают стоимость бустера и его установки.

Вольтодобавочные трансформаторы могут эффективно повышать напряжение, устранять перекос напряжений по фазам, при несимметрично изменяющейся нагрузке поддерживать стабильное напряжение на выходе.

Несмотря на довольно небольшую распространенность данного решения, применение ВДТ может быть полезным в следующих случаях: отсутствие возможности реконструкции ВЛ, при наличии сезонной нагрузки, временное решение проблемы низкого напряжения на ВЛ–0,4 кВ более 1 км.

Источники

1. Дорохов С.В. Применение вольтодобавочных трансформаторов в распределительных сетях // Энергетика и промышленность России. 2012. № 22 (210). С. 38.

2. Михалков А.В. Что нужно знать о регулировании напряжения: библиотека электромонтёра. 2-е изд. М.–Л.: Изд-во «Энергия», 1967. Вып. 214. 56 с. (Библиотека электромонтера).

3. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: учеб. пособие. Новосибирск: НГТУ, 2002. 248 с.

УДК 621.316.97

ОЦЕНКА УЩЕРБА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НАРУШЕНИИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Р.Д. Куламов[1], А.М. Павленок[2]
[1,2]ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург
[1,2]privet.iz.pitera69@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук А.А. Тишков

Аннотация. В настоящей работе рассматривается риск, сопряженный с причинением ущерба потребителю, связанного с отсутствием питания в заданной точке. Аналогичным образом могут быть оценены риски, вызванные возможными затратами на ремонт, замену и техническое обслуживание элементов системы.

Ключевые слова: интенсивность отказов, система электроснабжения, оценка рисков, аварийное событие.

Рассматриваемая в статье методика оценки риска базируется на некоторых фундаментальных понятиях. В соответствии с [1, 2] под безопасностью понимается отсутствие недопустимого риска. Под риском понимается сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба. Опасность – потенциальный источник возникновения ущерба. Отказ – потеря способности изделия выполнить требуемую функцию (является событием, которое приводит к неисправности).

В общем случае оценка риска возникновения опасного состояния технической или любой другой системы может быть рассмотрена с точки зрения взаимодействия потребителя (выполняющего в интересах объекта какую-либо задачу) и снабжающей системы, обеспечивающей данного потребителя определенным видом ресурса. На вход системы поступает ресурс (поток тепла, электроэнергии и др.), сама система в этом случае выступает как «вентиль», пропуская через себя данный ресурс и ранжируя его на своих выходах ($q_1 \ldots q_n$) в зависимости от внешних, внутренних воздействий и действий обслуживающего персонала. Уровень выходного ресурса будет варьироваться в пределах от 100 до 0 процентов от первоначального, образуя три области состояний системы, представленные на рис. 1:

– безопасного состояния (полного функционирования, 100 % ресурс);

– опасного состояния (ограниченного функционирования);

– катастрофы (гибель системы и срыв выполнения задачи, 0 % ресурс).

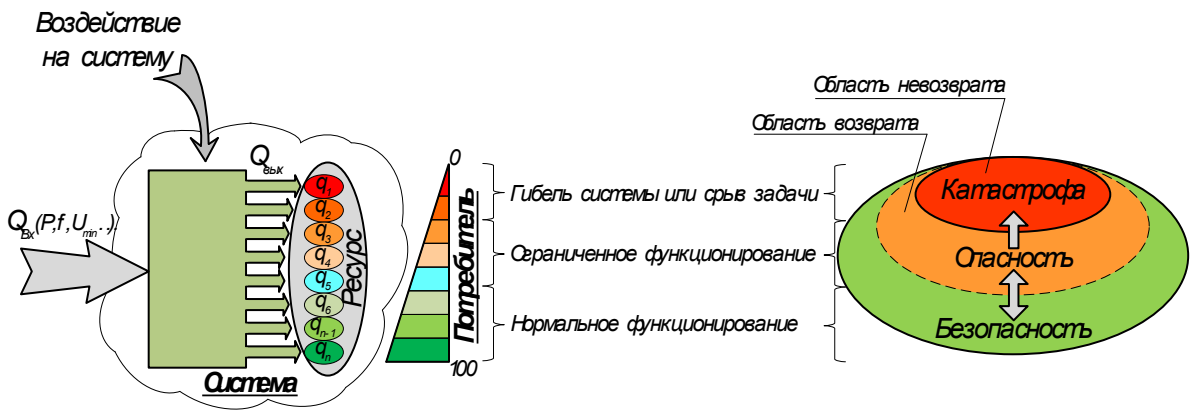


Рис. 1. Области состояний системы

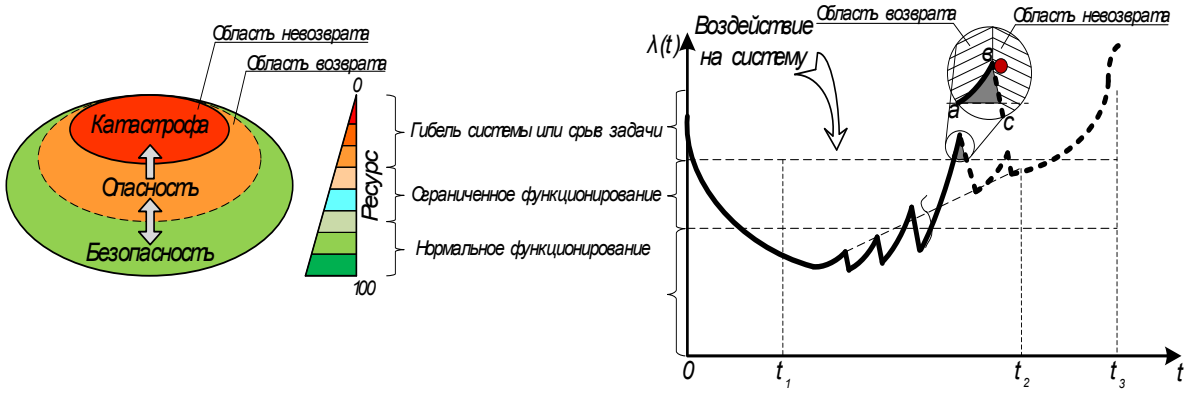


Рис. 2. Области состояний системы применительно к кривой интенсивности отказов

Из области опасного состояния объект (потребителя) можно вернуть в область безопасного состояния, повысив уровень ресурса на выходе системы. В то же время существует область катастрофы, отделенная от области опасного состояния линией невозврата. При переходе объекта в данную область он теряет устойчивость, следствием чего является невыполнение им своей задачи, гибель или катастрофа.

Известно, что зависимость интенсивности отказов во времени $\lambda(t)$, представленная на рис. 2, условно имеет три характерных участка:

– 0–t_1 – участок приработки, на котором интенсивность отказов относительно велика и быстро падает;

– t_1–t_2 – участок нормальной работы, на котором интенсивность отказов практически постоянна;

– t_2–t_3 – участок старения, на котором интенсивность отказов вновь возрастает.

Пикообразное увеличение интенсивности отказов на участке нормальной работы t_1–t_2 обусловлено износом элементов вследствие колебания внешних условий, нагрузок, неблагоприятных сочетаний различных факторов, ошибок обслуживающего персонала, характеризуется отрезком [а; б]. Снижение интенсивности отказов на отрезке [б; с] связано с восстановлением отказавших элементов системы ремонтной бригадой. Вместе с тем существует такая область (заштрихованная часть), где к элементам системы прикладываются внешние или внутренние воздействия, превышающие параметр стойкости самого элемента, вследствие чего происходит его полное разрушение.

Исходя из приведенных в начале статьи определений, оценка риска может быть представлена, как сопоставление вероятности возникновения опасного события на последствия от этого события с учетом его минимизации:

$$\overline{R} = \sum_{i=1}^{n} R_i \,, \tag{1}$$

$$R_i = P_i \cdot W_i \cdot \Psi_i \,, \tag{2}$$

где R – риск функционирования системы; R_i – риск функционирования на i-ом уровне выходного ресурса; P_i – вероятность возникновения опасного состояния на i-ом уровне выходного ресурса, полученная расчетным или экспериментальным путем; W_i – последствия опасного события (ущерб) на i-ом уровне выходного ресурса; Ψ_i – коэффициент снижения риска на i-ом уровне выходного ресурса.

Входящие в произведение сомножители могут быть оценены в баллах [3].

Так можно оценить последствия опасного события. Для этого необходимо провести анализ причин-последствий отказов, присвоив им значения (табл. 1).

Аналогичным образом можно оценить коэффициент снижения риска, который характеризует возможность снижения наступления опасного состояния, для его балльной оценки воспользуемся данными из табл. 2 [3].

Получив балльные значения переменных, путем их перемножения, можно проводить качественную или количественную оценку риска наступления опасного состояния.

Таблица 1

Оценки последствий отказов

Описание последствий отказов W_i	Оценка в баллах
Отказ не приводит к заметным последствиям, потребитель, вероятно, не обнаружит наличие неисправности	1
Последствия отказа незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением	2–3
Отказ приводит к заметному для потребителя снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобному применения изделия	4–6
Высокая степень недовольства потребителя, изделие не может быть использовано по назначению, но угрозы безопасности отказ не представляет	7–8
Отказ представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	9–10

Таблица 2

Оценки вероятности обнаружения отказа до аварии

Виды отказов по вероятности обнаружения до поставки	Вероятность обнаружения отказа, оцененная расчетом или экспериментальным путем Ψ_i	Оценка в баллах
Очень высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	более 0,95	1
Высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	от 0,95 до 0,85	2–3
Умеренная вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	от 0,85 до 0,45	4–6
Высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	от 0,45 до 0,25	7–8
Очень высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	менее 0,25	9–10

Таким образом, главной целью при количественной оценке риска является определение причинных взаимосвязей между исходными аварийными событиями, относящимися к оборудованию, персоналу или окружающей среде, а также отыскание способов устранения инициирующих событий путем проведения мероприятий, направленных на модернизацию оборудования, совершенствование эксплуатации с целью обеспечения безопасности СЭС. При этом начинать анализ риска необходимо с учета и формализации всех структурных и технологических особенностей безопасного функционирования – построения вероятностной математической модели.

Источники

1. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2010. 32 с.
2. ГОСТ Р 51898-2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты. М.: Изд-во стандартов, 2002. 5 с.
3. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. М.: Изд-во стандартов, 1997. 152 с.
4. Системы контроля изоляции в системах электроснабжения с изолированной нейтралью / А.К. Михайлов [и др.] // Технологии ЭМС. 2007. № 3 (22).
5. Тишков А.А., Колесник И.В. Модель развития локальных дефектов электрической изоляции в распределительной сети системы электроснабжения с изолированной нейтралью // Военный инженер. 2017. № 3 (5). С. 30–38.

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Р.С. Курбанов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
rahim0854@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук О.В. Воркунов

Аннотация. В статье описывается структура построения системы автоматизированного учета электроэнергии у бытовых потребителей. Данный комплекс предназначен для измерения необходимых параметров электроэнергии и отправки полученных данных по беспроводным каналам связи на удаленный сервер для дальнейшей обработки. Особенностью системы является возможность ее подключения к уже существующим приборам учета электроэнергии у потребителей без необходимости в реконструкции жилищно-домовой системы учета электроэнергии. Устройства системы разрабатываются на основе микроконтроллера «Arduino Uno».

Ключевые слова: учет электроэнергии, автоматизированный учет, АСКУЭ, бытовой сектор, жилищно-коммунальное хозяйство, мониторинг качества электроэнергии, беспроводной учет, «Arduino Uno».

В плане развития энергосистемы России одним из основных направлений является переход к интеллектуальным, или цифровым электрическим сетям. Цифровые сети в совокупности с цифровыми подстанциями призваны образовать систему, которая станет площадкой для реализации большого количества проектов, направленных на увеличение надежности бесперебойного электроснабжения потребителей,

уменьшение потерь при транспортировке электроэнергии, а также появление возможности у электрических сетей производить самодиагностику, самовосстановление в случае аварий, перераспределять электроэнергию между потребителями и управлять их спросом и др. [1].

Результаты перехода к цифровым сетям будут иметь положительное влияние на остро стоящие вопросы энергосбережения и энергоэффективности бытовых потребителей (БП). Данное предположение объясняется наличием в цифровых сетях всех классов напряжения измерительных устройств для контроля передаваемой и потребляемой мощности, качества электроэнергии и др. и передачи полученных данных на удаленный сервер. В свою очередь это позволит производить постоянный анализ этих и других величин для более точного учета электрической мощности и разработки рекомендаций для корректировок режима генерации и потребления электроэнергии. Повсеместно внедренные автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) БП позволят помимо увеличения точности информации о потреблении электричества каждым потребителем и обеспечения автоматизированной отправки данных сотрудникам энергосбытовых организаций повысить платежную дисциплину у электропотребителей. Также АСКУЭ БП, внедренные в жилищно-коммунальные хозяйства, будут способствовать определению точной картины распределения абонентов по величине месячного и суточного потребления, что необходимо для правильной выработки тарифных планов на электроэнергию [2].

В России уже существуют различные АСКУЭ БП, способные помимо сбора и отправки информации о потреблении и качестве электроэнергии на удаленный сервер еще и дистанционно отключать энергоснабжение абонентов-неплательщиков [3, 4]. Главным недостатком таких систем является невозможность работы с существующими измерительными устройствами (или счетчиками электроэнергии), что в случае модернизации уже имеющейся системы учета в жилых домах до АСКУЭ влечет за собой ее полное переоборудование. Также одной из причин, объясняющей отсутствие широкого распространения современных АСКУЭ БП на рынке жилищно-коммунальных хозяйств, является высокая стоимость устройств таких систем.

В данной работе авторами описывается структура разрабатываемой на сегодняшний день АСКУЭ БП на основе бюджетных комплектующих, устройства которой будут способны измерять электрические величины и передавать данные на удаленный сервер. Отличительной особенностью

устройств является возможность использования их совместно с уже существующими в жилых домах электрическими счетчиками.

Описание комплекса автоматизированного учета электроэнергии.

Основным элементом устройства комплекса АСКУЭ БП является микроконтроллер (МК), способный с помощью периферийных устройств производить измерения электрических величин и обработку данных. В качестве МК для данных задач был выбран «Arduino Uno» [5], являющийся достаточно бюджетным вариантом, что снизит конечную стоимость устройств комплекса. Для передачи данных между устройствами и сервером будет использоваться беспроводная связь, создаваемая с помощью модулей радиосвязи «NRF24L01» в обход проводной связи, обладающей рядом недостатков, начиная с высокой стоимости монтажных работ и заканчивая невозможностью или неудобством, в некоторых случаях, создания такой связи по технологическим или организационным причинам.

Разрабатываемая АСКУЭ БП будет состоять из трех основных модулей: модуля учета (МУ) электроэнергии, подключаемого к существующему электросчетчику (СЭ), роутера и центрального модуля приема и обработки (МПО) данных. Структурная схема комплекса представлена на рис. 1.

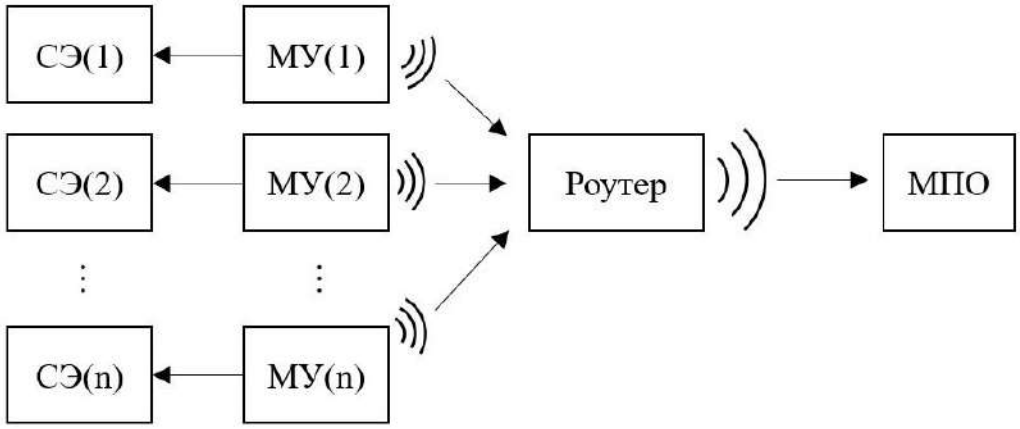


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемой АСКУЭ БП

МУ предназначен для осуществления независимого измерения МК электрических величин в СУ. С помощью беспроводной связи происходит передача данных, накопившихся в МУ, в общий роутер, также снабженный модулем радиосвязи. МПО, конструктивно не отличающийся от МУ, производит прием данных с роутера по беспроводной связи, их обработку и передачу результатов сотрудникам жилищно-коммунальных хозяйств или энергосбытовых организаций посредством проводной связи на

рабочий компьютер. При применении разрабатываемой АСКУЭ БП нет необходимости замены СЭ, поскольку измерение электрических величин, производимое МУ, осуществляется без влияния на работу СЭ.

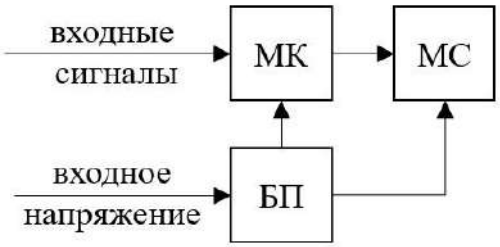


Рис. 2. Структура устройства измерения электрических величин АСКУЭ БП

Структура МУ описана на рис. 2. МК производит оцифровку и сохранение входных сигналов, полученных от СЭ, и отправку их на модуль связи (МС) для дальнейшей передачи по радиосвязи на роутер. МК и МС получают электропитание через блок питания (БП), преобразующий входное переменное напряжения 220 В в постоянное напряжение 5 В.

Разрабатываемый комплекс может быть применим не только в АСКУЭ БП, но и для создания связи между различными измерительными приборами и пунктами обработки данных.

Источники

1. Энерджинет [Электронный ресурс] // Национальная технологическая инициатива 2035: [сайт]. URL: http://www.nti2035.ru/markets/energynet (дата обращения: 20.01.2019).

2. АСКУЭ бытовых потребителей [Электронный ресурс] // Студопедия: [сайт]. URL: https://studopedia.su/17_44589_askue-bitovih-potrebiteley.html (дата обращения: 22.01.2019).

3. Сплит электросчетчик с радиомодулем ФОБОС 1S [Электронный ресурс] // Вавиот: [сайт]. URL: https://waviot.ru/product/elektroschetchik-s-radiomodulem-phobos-1-s/ (дата обращения: 22.01.2019).

4. Электросчетчик с радиомодулем «A1 Split» однофазный [Электронный ресурс] // Стриж. ЖКХ: [сайт]. URL: https://uchet-jkh.ru/product/elektroschetchiki-s-radiomodulem/elektroschetchik-s-radiomodulem-amper-1-split (дата обращения: 22.01.2019).

5. Arduino Uno [Электронный ресурс] // Arduino.ru: [сайт]. URL: http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno (дата обращения: 22.01.2019).

УДК 621.314: 620.1

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ

Е.Н. Лобанова[1], В.А. Крюкова[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2]79196918258@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук М.Ш. Гарифуллин

Аннотация. Анализ распределения напряжения на шинах 10 кВ районных трансформаторных подстанций показывает, что без регулирования напряжения на них практически невозможно обеспечить приемлемый режим напряжения у потребителя. Одним из способов оперативного регулирования напряжения является изменение коэффициента трансформации трансформатора. Изменяется число витков в первичной или вторичной обмотке. Современные силовые трансформаторы оборудованы специальными устройствами, позволяющими добавлять или отключать необходимое количество витков. Уровень сложности такого регулирования при использовании переключателя витков зависит частоты применения, а также от функциональных особенностей трансформатора и его габаритов.

Изменение коэффициента трансформации под нагрузкой осуществляется с помощью переключающего устройства под нагрузкой (РПН). На данном этапе развития электроэнергетики существует проблема повреждаемости РПН. Актуальность проблемы повреждаемости устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов обусловлена тем, что РПН силовых трансформаторов – сложный и недостаточно надежный узел силового трансформатора. Большое количество отказов трансформаторов связано с повреждением РПН.

Ключевые слова: переключающее устройство РПН, силовой трансформатор, контроль состояния диагностика.

Уровень напряжения у потребителей в распределительных сетях является одним из важнейших показателей качества электрической энергии. На основании ГОСТ 13109-97 отклонения напряжения у потребителей не должно превышать ± 5 %. Действительное напряжение часто не соответствует предъявляемым требованиям, это и служит причиной нарушения условий нормальной работы электроприемников и ухудшения технико-экономических показателей системы электроснабжения.

В соответствии с ПУЭ в электрических сетях для централизованного и местного регулирования напряжения широко применяются силовые трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Основным преимуществом таких трансформаторов является возможность поддержания необходимого потребителю уровня напряжения изменением коэффициента трансформации без предварительного отключения трансформатора от сети [1]. Устройства РПН устанавливаются на трансформаторах с напряжением выше 20 кВ. Такие трансформаторы со встроенным РПН имеют специальное переключающее устройство,

увеличенное число ступеней регулировочных ответвлений и широкий диапазон регулирования. В зависимости от мощности и напряжения трансформатора устройство РПН может регулировать напряжение в различных пределах, в результате чего можно избежать снижения качества и появления брака продукции, повышения повреждаемости электрической изоляции, сокращения срока службы электротехнического оборудования и т.д.

Устройство регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой являются одним из самых слабых мест оборудования подстанций. Их различают по следующим классификационным признакам:

а) тип токоограничивающего элемента – реакторные и резисторные устройства;

б) наличие контактора – устройства с контакторами и устройства без контакторов;

в) тип коммутации тока – разрыв дуги в трансформаторном масле; разрыв дуги в вакууме; применение бездугового отключения тока при помощи тиристоров; смешанные способы коммутации.

В случае индуктивных (реакторных) устройств каждую ступень РПН необходимо обеспечить двумя силовыми контакторами и одной индуктивностью с двумя обмотками. В процессе регулирования происходит переключение одного из контакторов на следующий контакт с автоматическим коротким замыканием части обмотки трансформатора – дополнительная индуктивность позволяет ограничить ток до необходимых пределов. Затем происходит замыкание со вторым контактором, что и обеспечивает необходимое регулирование без образования резких ингредиентов токов.

Основной принцип резисторного метода, позволяющий существенно увеличить надежность переключателей витков силовых трансформаторов под нагрузкой, основан на изобретении триггерного контактора Янсона. Он предусматривает определенную нагруженность контактов жесткой пружиной, позволяющей контактам максимально сократить время переключения между витками с помощью специального токоограничивающего резистора.

Главная конструктивная особенность резисторных переключающих устройств – наличие быстродействующего пружинно-аккумулирующего механизма, который обеспечивает завершение переключения без остановки в промежуточном положении независимо от наличия электропитания приводного механизма [2].

На сегодняшний день на рынке профессионального оборудования для диагностики РПН трансформаторов существует немало приборов как

российских, так и зарубежных производителей, отличающихся как методами, так и удобством контроля нормируемых параметров РПН. Часть приборов напрямую воспроизводят методы контроля РПН, прописанные в их руководствах по эксплуатации, другие основаны на оригинальных разработках, не требующих подключение внешних резисторов или перемычек. Различают следующие методы диагностики РПН трансформатора [4]:

– анализ газов. Метод достаточно чувствителен к различным нарушениям контактов, приводящим к их перегреву. Ограниченная область применения: если масло РПН и трансформатора является общим, то однозначно указать на то, что имеются проблемы именно с контактами РПН нельзя. Кроме того, по анализу газов ничего нельзя сказать о механических дефектах привода;

– виброизмерения. Трансформатор всегда работает в условиях вибраций, которые можно рассматривать в качестве испытательного воздействия при выполнении вибрационных исследований. Это позволяет, не выводя трансформатор в ремонт, обнаружить проблемы, связанные с ослаблением или развинчиванием различных соединений, что позволяют обнаружить дефекты на начальной стадии, не доводя трансформатор до аварии. Для правильной диагностики требуется знание спектра исправного РПН и соответствующая база спектров типовых неисправностей;

– температурные измерения. Температура различных частей трансформатора часто является первым признаком увеличенного сопротивления контактов. Эти измерения выполняются при работе трансформатора под нагрузкой. Невозможно определить состояние контактов, которые в данный момент не нагружены;

– мощность. По потребляемой мощности можно оценить состояние пружин контактора, различного рода заедание привода и другие дефекты, приводящие к увеличению или уменьшению потребляемой мощности электродвигателя. Зачастую ничего нельзя сказать об электрическом сопротивлении контактов;

– измерение электрического сопротивления контактов. Характеризует состояние контактов избирателей, предизбирателей и контактора. Измерения должны быть выполнены во всех положениях контактов избирателей и предизбирателя, производятся как без вскрытия бака РПН путем измерения сопротивления обмоток трансформатора фаза-ноль или фаза-фаза, так и непосредственно путем подключения к контактам РПН;

– снятие круговой диаграммы. Безразборный контроль (без вскрытия крышки РПН): снятие временной диаграммы работы контактора быстродействующего РПН позволяет проверить целостность токоограничивающих резисторов РПН и оценить время переключения контактора из одного положения в другое, позволяет проверить отсутствие смещения неподвижных контактов избирателей, величину люфтов и т.д. Сопоставление моментов времени и позиций переключателя позволяет выявить ненормальности в работе реверсирующего контактора и предупредить возможное залипание контактов;

– снятие временной диаграммы работы контакторов. По полученным осциллограммам проверяют: отсутствие разрывов электрической цепи; продолжительность работы дугогасительных контактов в положении «мост»; продолжительность переключения между моментами размыкания и замыкания вспомогательных и дугогасительных контактов различных плеч, в течение которых происходит гашение дуги.

В силу конструктивных особенностей устройства РПН до 40 % аварий трансформаторов связано с их повреждением. Причинами повреждений являются дефекты контакторов, подгар контактов контакторных устройств, повреждение защитной мембраны и др. [3].

С учетом большой доли повреждаемости РПН актуальной проблемой стало диагностирование состояние РПН трансформатора. Существуют следующие методы контроля за состоянием РПН: визуальный осмотр, виброизмерения, измерение электрического сопротивления контактов, снятие круговой диаграммы и т.д. Существующие способы контроля состояния РПН трансформатора не обеспечивают требуемой надежности электроснабжения, поэтому необходима разработка современных концепций диагностики состояния РПН, в которых учитывались бы конструктивные особенности устройства, срок и особенности эксплуатации и другие факторы.

Источники

1. Михалков А.В. Что нужно знать о регулировании напряжения. 2-е изд. М.–Л.: Изд-во «Энергия», 1967. Вып. 214. 56 с. (Сер. «Библиотека электромонтера»).

2. Устройства переключения отпаек // Эксплуатация силовых масляных трансформаторов 35–110 кВ. URL: http://pokroff.com/instrukcii-po-ekspluatacii/podstancii/ekspluataciya-silovyh-maslyanyh-transformatorov-35-110-kv_8.html (дата обращения: 20.06.2018).

3. Способы диагностики РПН трансформаторов / Отдел маркетинга ООО «СКБ Электротехнического приборостроения» // Электротехнический рынок. 2013. № 3 (51). С. 91–93. URL: https://www.yumpu.com/ru/document/read/57060565/-no3-51-2013- (дата обращения: 20.08.2018).

УДК 621.316.1+621.3.017

МОНИТОРИНГ СЕТЕЙ 0,4 кВ

Лыу Куок Кыонг
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
lqcuong.nute@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Маклецов

Аннотация. В статье рассматривается актуальность проблемы несимметрии нагрузок в сетях 0,4 кВ, влияние несимметрии на работу потребителей.

Предлагается новый подход к решению указанной проблемы с помощью постоянного мониторинга и решения задачи определения потерь электроэнергии в четырехпроводных несимметричных сетях.

Ключевые слова: контроль, мониторинга, сетей, отличаются, несимметрия, симметрирующей обмоткой.

При наличии однофазных нагрузок всегда существует несимметрия этих нагрузок, которая существенно влияет на регламентируемые ГОСТ 32144-2013 показатели качества электроэнергии (КЭ) – медленное изменение напряжения δU (± 10 % от номинального) и коэффициенты несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности. Различные нагрузки фаз могут привести к недопустимым δU, что повлияет на работу потребителей (например, снижение напряжения приведет к снижению эффективности работы двигательных нагрузок и к увеличению потребления реактивной мощности из электрической сети, вызывая в них дополнительные потери электроэнергии). Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K2u$ и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K0u$.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

– значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности и несимметрии напряжений по нулевой

последовательности в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

– значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности *K*2*u* и несимметрии напряжений по нулевой последовательности *K*0*u* в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Основная масса коммунально-бытовых потребителей относится к категории однофазных.

В настоящее время наблюдается рост количества и единичной мощности однофазных электроприемников (стиральные машины, нагревательные приборы и т.д.). Причем время их включения непредсказуемо, что в принципе исключает возможность наличия одинаковой нагрузки всех трех фаз. На рис. 1 представлен суточный график пофазного потребления активной мощности многоквартирного дома, в котором к каждой фазе присоединено практически одинаковое количество однотипных квартир.

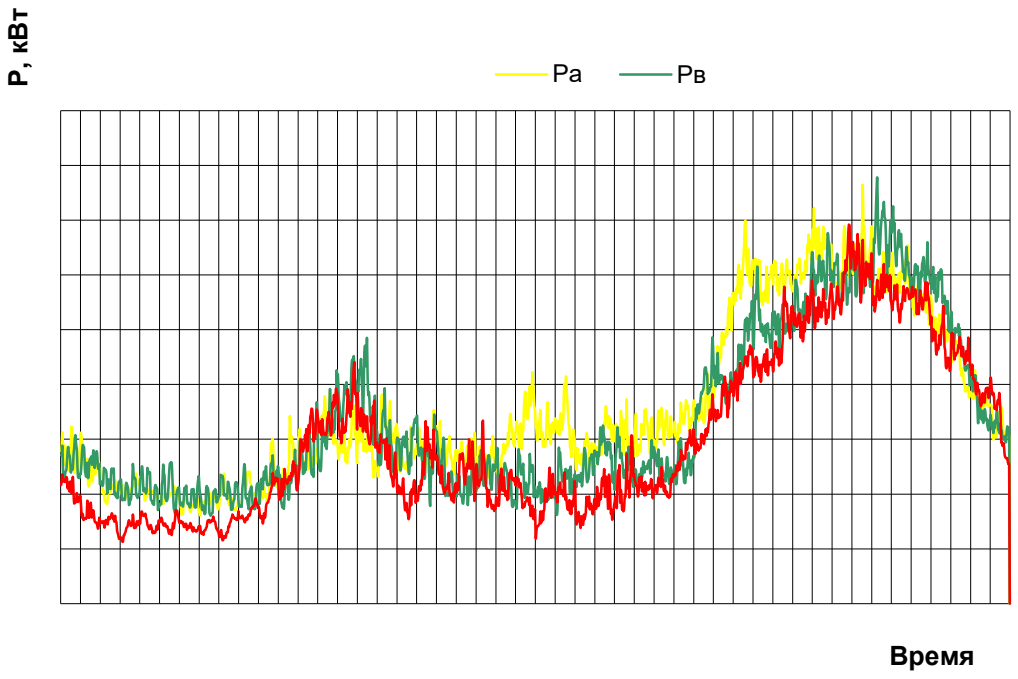
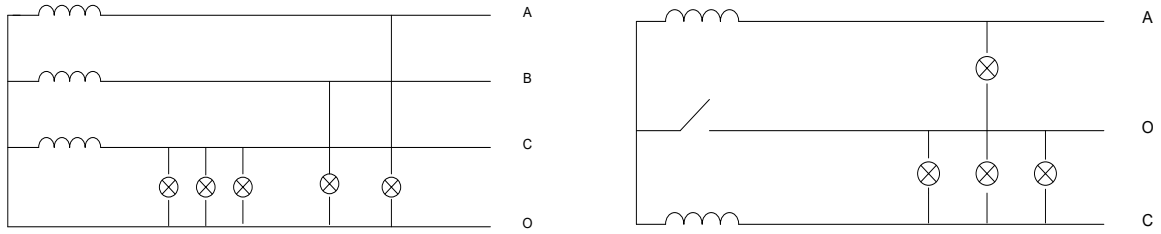


Рис. 1. Активная мощность по фазам многоквартирного жилого дома

Как видно из рис. 1, в некоторые отрезки времени нагрузки отдельных фаз отличаются друг от друга в три раза. Соответственно в три раза будут отличаться падения напряжений в питающей сети, что может привести к несоответствию напряжений ГОСТ 32144-2013.



а) б)

Рис. 2. Подключение фазных нагрузок к 3-х фазной сети: а – исправный нулевой провод; б – обрыв нулевого провода

Значительное влияние на несимметрию напряжений оказывает сопротивление нулевого провода. На рис. 2 показаны схемы подключения несимметричной нагрузки при исправном нулевом проводе (а) и при его обрыве (б). Если в первом случае несимметрия напряжений будет обусловлена, в основном, различными падениями напряжения в фазных обмотках трансформатора и проводниках, то во втором случае линейное напряжение *U*ас будет приложено к последовательно включенным фазным нагрузкам фаз А С, отличающимся друг от друга в 3 раза (фаза В на рис. 2 не показана). При этом напряжение у потребителей фазы А будет составлять около 285 В, а у потребителей фазы С – 95 В.

Обрыв нулевого провода при несимметричной нагрузке является наиболее частой причиной выхода из стоя электроприемников потребителей из-за высокого напряжения.

Следует отметить, что не только обрыв, но и увеличение сопротивления нулевого провода (например, из-за окисления контактных соединений) увеличивает перекос фазных напряжений при несимметричной нагрузке. Отсюда следует необходимость контроля сопротивления петли «фаза-ноль».

При наличии несимметричной нагрузки появляются дополнительные потери электроэнергии как в нулевом проводе, так и в проводах фаз. Кроме того, увеличиваются потери и в питающем трансформаторе из-за нагрева его бака магнитными потоками нулевой последовательности.

Эффективным средством снижения несимметрии напряжений и обеспечения требований ГОСТ 13109-97 является использование трансформаторов с симметрирующей обмоткой, включенной в нулевой провод. В [1] показана эффективность использования таких трансформаторов с точки зрения снижения потерь электроэнергии как в самих трансформаторах, так и в питаемых ими электрических сетях.

В настоящее время контроль симметрии нагрузок ЛЭП 0,4 кВ в обязательном порядке производится в дни контрольных замеров 2 раза

в год. Однако в промежутках между замерами степень несимметрии может существенно измениться, что вызовет увеличение потерь электроэнергии. При этом увеличивается ток в нулевом проводе, что может привести к его обрыву, чаще в контактном соединении. Несимметрия нагрузки и обрыв нулевого провода – наиболее вероятные причины выплаты потребителям компенсаций за выход из строя бытовых электроприборов.

В данной работе предлагается осуществлять постоянный мониторинг ЛЭП 0,4 кВ с помощью электронных счетчиков тип «Меркурий» и каналов GPRS с расчетом режимов ЛЭП 0,4 кВ, включая потери электроэнергии и усреднение каждые 10 мин. Кроме того, через каждые 10 мин будет производиться виртуальное симметрирование нагрузок с последующим расчетом потерь электроэнергии. Анализ этих расчетов позволит сделать вывод о необходимости внеочередного симметрирования нагрузок.

В результате завершения работы будут в реальном времени решаться следующие задачи:

– контроль симметрии нагрузок ЛЭП 0,4 кВ;

– расчет потерь электроэнергии в древовидных сетях 0,4 кВ при контролируемой несимметрии и расчетных потерь после симметрирования нагрузок. Для оценки распределения однофазных нагрузок вдоль ЛЭП будут использоваться данные о сезонных потреблениях электроэнергии всех подключенных к ЛЭП потребителей. В работе будет реализован алгоритм расчета режимов четырехпроводной электрической сети;

– формирование и выдача тревожных сигналов и ЕСМ – сообщений заинтересованному персоналу при значительных несимметриях и возможностях снижения потерь электроэнергии.

Источники

1. Симметриующее устройство для трансформаторов. Средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ / А. Сердешнев [и др.] // Новости электротехники. 2005. № 31. С. 69–71.

2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2006. 32 с.

3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

УДК 621.316.1

СРАВНЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА И КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

О.В. Мазнева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
mazneva-olga@yandex.ru
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Р.Г. Хузяшев

Аннотация. В данной работе были предложены и сравнены между собой два алгоритма классификации сигналов переходного процесса, регистрируемых в линиях электропередач. В качестве первоначального анализа, были рассмотрены случаи с упрощенными сигналами. Представлена сравнительная таблица.

Ключевые слова: сигнал, цифровой фильтр, корреляционный анализ, переходной процесс, алгоритм, математический анализ.

Актуальность классификации сигналов переходного процесса (ПП), состоит в облегчении работы оперативного персонала по классификации осциллограмм, приходящих с программно-аппаратного комплекса волнового определения места повреждения (ПАК ВОМП) [1, 2]. Важным шагом является анализ и сравнение методов, которые позволяют классифицировать осциллограммы по определенным признакам. Наиболее точный алгоритм позволит быстро анализировать приходящий сигнал, выдавать результат о природе сигнала (короткое замыкание или коммутация высоковольтного выключателя) и экономить время на визуальной обработке сигналов.

Нами были рассмотрены простейшие примеры использования искусственных нейронных сетей в задаче классификации сигналов переходного процесса, полученных благодаря ПАК ВОМП. Данными примерами является корреляционный анализ и нерекурсивный цифровой фильтр (НЦФ).

При визуальном анализе осциллограмм переходного процесса было выявлено, что сигналы ПП при коммутации высоковольтного выключателя разбиваются на два импульса. Длительность первого импульса варьируется от 98 до 563 мкс и имеет среднее значение 308 мкс. Длительность второго импульса варьируется от 240 до 373 мкс и имеет среднее значение 380 мкс. Интервал между началами каждого импульса варьируется от 822 до 1376 мкс, а его среднее значение имеет 942 мкс. Сигналы, сгенерированные естественными коммутациями (аварийные), имеют вид одного импульса средней длительностью 956 мкс с разбросом длительности от 621 до 1180 мкс.

Для упрощения исследования в цифровой фильтр была встроена эталонная функция, состоящая из 7 коэффициентов «0» и «1»: 1,1,0,0,1,1,1. Через такой цифровой фильтр пропускается: эталонный сигнал вида «1,1,0,0,1,1,1» и отличные от эталонного сигналы видов «1,1,0,0,0,0,0», «1,1,1,1,1,1,1», «1,1,1,0,0,0,0», «1,1,0,0,0,1,1», «1,0,0,0,0,0,1».

Чтобы смоделировать прохождение сигнала через фильтр, был введен параметр смещение *m*. Смещение – это сдвиг начала анализируемой осциллограммы относительно начала эталонной функции.

Так же были проанализированы эталонные функции с коэффициентами «1,1,0,0,1,1,1», в начало и конец которых были добавлены нули.

Таблица 1

Максимальные значения на выходе цифрового фильтра и коэффициента корреляции для эталонной функции вида «1,1,0,0,1,1,1»

Вид анализируемой функции	КК					НЦФ				
	Количество добавленных нулей									
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
1,1,0,0,1,1,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,1,0,0,0,0,0	0,4	0,47	0,51	0,53	0,55	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1,1,1,0,0,0,0	0,55	0,63	0,67	0,69	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1,1,1,1,1,1,1	0,54	0,59	0,69	0,73	0,76	1	1	1	1	1
1,0,0,0,0,0,1	0,4	0,47	0,51	0,53	0,55	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1,1,0,0,0,1,1	0,73	0,8	0,82	0,84	0,85	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Значения НЦФ для удобства сравнения со значениями коэффициента корреляции (КК) были нормированы, результаты представлены в табл. 1.

Для удобства на рис. 1. показаны результаты (табл. 1) в графическом виде.

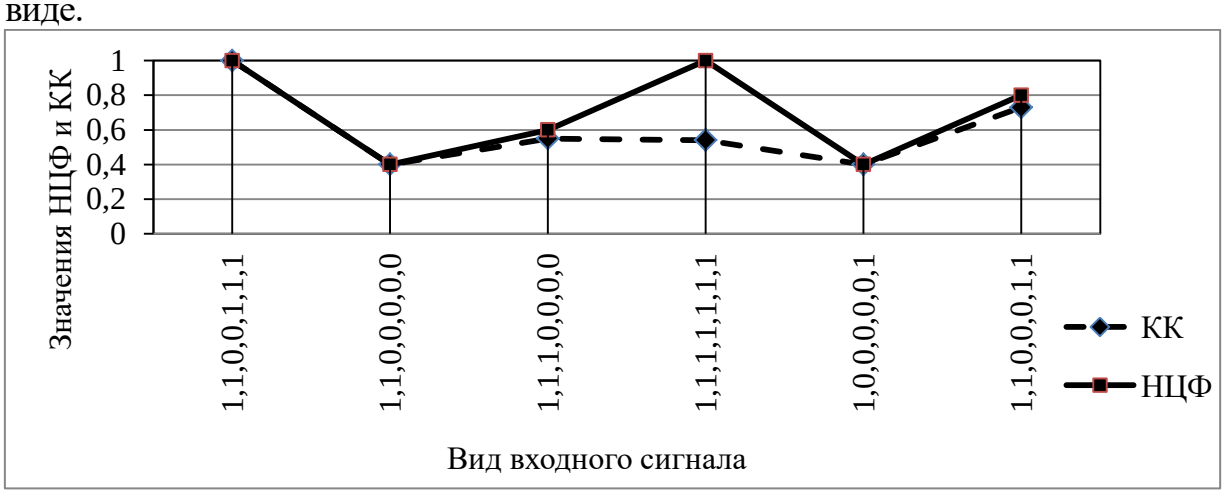


Рис. 1. Максимальные значения НЦФ и КК для эталонной функции вида: 1,1,0,0,1,1,1 без добавления нулей

Для сравнения с эталонной функцией вида «1,1,0,0,1,1,1» (табл. 1.), была проанализирована эталонная функция с коэффициентами «1,1,–1,–1,1,1,1». Результаты вычисления представлены в табл. 2.

Таблица 2

Максимальные значения на выходе цифрового фильтра и коэффициента корреляции для эталонной функции вида «1,1,–1,–1,1,1,1»

Вид анализируемой функции	КК					НЦФ				
	Количество добавленных нулей									
	0	2	4	6	8	0	2	4	6	8
1,1,0,0,1,1,1	1	0,91	0,89	0,87	0,87	1	1	1	1	1
1,1,0,0,0,0,0	0,4	0,43	0,46	0,47	0,48	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1,1,1,0,0,0,0	0,54	0,57	0,59	0,6	0,61	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1,1,1,1,1,1,1	0,54	0,45	0,39	0,35	0,32	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
1,0,0,0,0,0,1	0,4	0,43	0,45	0,47	0,48	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
1,1,0,0,0,1,1	0,73	0,73	0,73	0,73	0,74	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Для удобства ниже на рис. 2. показаны результаты (табл. 2) в графическом виде.

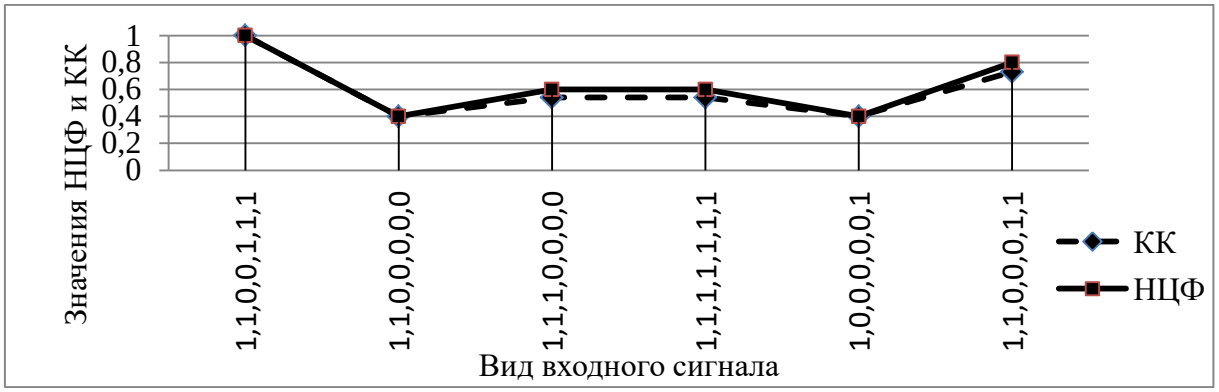


Рис. 2. Максимальные значения НЦФ и КК для эталонной функции вида «1,1,–1,–1,1,1,1» без добавления нулей

Каждый из рассмотренных алгоритмов имеет свои достоинства и недостатки. Так алгоритм вычисления значений у НЦФ проще, чем вычисления коэффициентов корреляции. Как видно из табл. 1, при любом количестве добавленных нулей максимальное значение остается неизменным. При увеличении количества «1» в анализируемом сигнале, значение на выходе фильтра растет, и в какой-то момент времени оно достигает максимального значения равное единице. Однако, если

заменить эталонную функцию, на эталон вида «1,1,–1,–1,1,1,1», то максимальное значение всех одноимпульсных сигналов достигает 0,6.

Алгоритм вычисления КК сложнее, однако значения КК дают более объективные результаты. При пропускании через фильтр сигнала вида «1,1,0,0,1,1,1» значение КК достигает максимального значения (табл. 1, 2).

Слабое место и у цифрового фильтра, и у вычисления КК является сигнал вида «1,0,0,0,0,0,1». Из-за большого интервала между началами двух импульсов сигнал воспринимается как аварийный сигнал.

Источники

1. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Новиков С.И. Программно-аппаратный комплекс волнового метода определения места повреждения в сетях 6–10 кВ // Релейная защита и автоматика энергосистем 2017: сб. тр. конф. СПб., 2017. С. 1179–1185.
2. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Новиков С.И. Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса напряжения в линиях электропередач // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 7–8. С. 114–123.

УДК 621.314.233

ПРОБЛЕМА НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Г.И. Мубаракова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
limon2405@mai.ru
Науч. рук. д-р техн. наук М.Ш. Гарифуллин

Аннотация. На сегодняшний день многие сталкиваются с проблемой низкого напряжения в электрических сетях, которая может привести к сгоранию техники, существенным затратам на замену электроприборов, увеличению счетов за электроэнергию. Причинами являются старение линий электропередач, их некачественное обслуживание. Оборудование зачастую изношено, устарело и не отвечает современным требованиям. Также встречаются ошибки планирования линий электропередач, подвода к домам, когда одна фаза перегружена, другая недогружена. Поэтому основным методом исследования работы электрических сетей является моделирование, которое позволит при реконструкции выбрать наиболее эффективные решения проблемы низкого напряжения, улучшить работу данной сети путем модернизации устаревших и изношенных линий электропередач, установкой вольтодобавочных трансформаторов, компенсирующих устройств, рассматривая различные режимы работы электрической сети.

Ключевые слова: электрическая сеть, напряжение, компенсирующее устройство, вольтодобавочный трансформатор, электроэнергия, линия электропередачи.

Электрическая энергия от трансформатора до потребителя передается по линиям электрических передач. При прохождении напряжения по ЛЭП, часть напряжения теряется в линии, это явление называется падением напряжения. Проблема поддержания требуемого уровня напряжения является наиболее актуальной в вопросе обеспечения качества электрической энергии, поставляемой потребителям. Решение данной проблемы занимает одно из важнейших мест среди мероприятий, направленных на повышение эффективности распределения, передачи и потребления электроэнергии.

Потребители, расположенные ближе к понижающему трансформатору, получают повышенное напряжение, которое превышает номинальное значение. Потребители же, расположенные дальше от него, обычно получают пониженное напряжение. Уровень напряжения в сети конечного потребителя зависит от степени удаленности его от высоковольтного понижающего трансформатора (рис. 1).

Пониженное напряжение опасно для нагрузок, имеющих в своем составе электрические двигатели. Оно может привести к существенным затратам на замену электроприборов, сгоранию техники, увеличению счетов за электроэнергию. Причинами являются старение линий электропередач, их некачественное обслуживание. Оборудование зачастую бывает изношено, либо устарело и не отвечает современным требованиям. Также встречаются ошибки планирования ЛЭП, подвода к домам, когда одна фаза перегружена, другая недогружена.

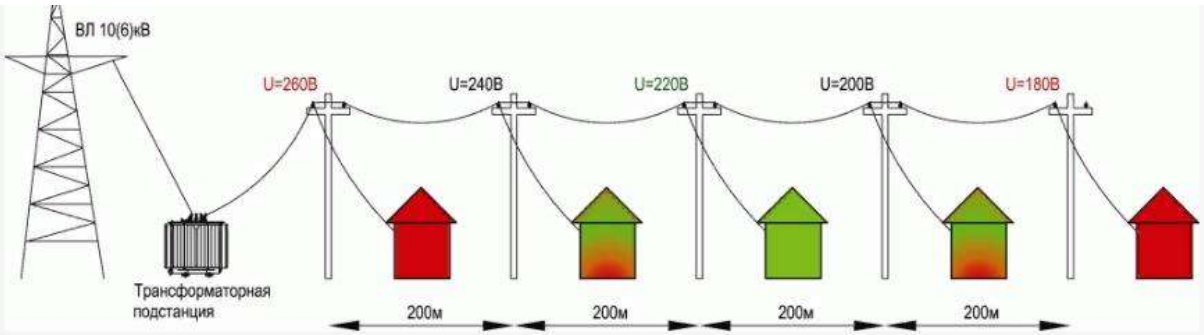


Рис. 1. Линия электропередачи. Уровни напряжения и потери в линии

Существуют несколько способов предотвращения снижения напряжения в электрических сетях. Изменение параметров питающих сетей: уменьшение длины, увеличение сечения или использование проводников, которые обладают меньшими значениями сопротивлений.

Можно увеличить напряжение с помощью вольтодобавочных трансформаторов. Вольтодобавочные трансформаторы целесообразно

применять как временное оперативное решение проблемы низкого напряжения на воздушной линии большой протяженности, если разукрупнение ВЛ связано с крупными материальными затратами и не может быть выполнено в быстрые сроки привычные меры. Также их применяют в условиях, где нет возможности установить дополнительную КТП, или затраты на разукрупнение линии в несколько раз превышают стоимость ВДТ и его установки. Использование ВДТ позволяет поддерживать номинальное напряжение в сети, способствует более надежной и безопасной эксплуатации линии.

Еще одним из возможных способов повышения напряжения в электрических сетях с минимальными затратами является использование компенсирующих устройств, которые позволяют регулировать напряжение, снижать потери мощности и электроэнергии. Компенсирующие устройства используются для увеличения экономичности сети и улучшения режима напряжения.

Для решения проблемы низкого напряжения потребителей была создана модель электрической сети в среде Simulink, использование которой позволит оценить возможности различных путей модернизации и реконструкции данной сети, выбрать наиболее эффективный и рациональный способ обеспечения требуемых уровней напряжения в системах электроснабжения.

Источники

1. Герасименко А.А., Федин В.Д. Передача и распределение электрической энергии. 4-е изд., стер. М.: КНОРУС, 2014. 648 с.

2. Костин В.Н., Распопов Е.В., Родченко Е.А. Передача и распределение электроэнергии: учеб. пособие. СПб.: СЗТУ, 2003. 147 с.

3. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы: учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 2002. 216 с.

4. Ананичева С.С., Алексеев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учеб. пособие. 3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 93 с.

УДК 621.31

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Д.С. Паранин
ГАПОУ «НПК им.Е.Н. Королёва», г. Нижнекамск
dmitriylalka@gmail.com
Науч. рук. канд. пед. наук П.А. Изотова

Аннотация. В современном мире мы все зависим от электроэнергии, поэтому вопрос, связанный с уменьшением потерь при передаче электроэнергии, является актуальным. Ведь известно, что при передаче электроэнергии на расстоянии происходят ее потери, что влияет на качество передаваемой электроэнергии и, соответственно, работу потребителей.

Ключевые слова: технические потери, мероприятия по снижению потерь, потери в трансформаторе, уменьшение потерь на явление «короны».

Технические потери электроэнергии обусловлены физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей. К ним относятся:

– нагрузочные потери в линиях;

– потери холостого хода в трансформаторах и автотрансформаторах;

– потери на корону в воздушных линиях.

Мероприятия по снижению технических потерь разделили условно на мероприятия по снижению потерь энергии при проектировании системы электроснабжения и при эксплуатации уже существующих электроустановок.

К эксплуатационным мероприятия относятся: отключение малозагруженных трансформаторов на двухтрансформаторных подстанциях и переключение обмоток у малозагруженных электродвигателей с «треугольника» на «звезду».

К мероприятия при проектировании относятся: сокращение радиуса ВЛ 10 кВ, установка в сетях компенсирующих и симметрирующих устройств, применение трансформаторов с РПН.

Известно, что большая часть потерь активной мощности падает на распределительные сети 0,22–10 кВ. По этому возможны следующиее мероприятия для уменьшения потерь в воздушных линиях:

– сокращения длины линий, например, от трансформатора до приемника электроэнергии;

– увеличения сечений линий;

– увеличения напряжения сети.

Сокращение длины линий осуществляется путем:

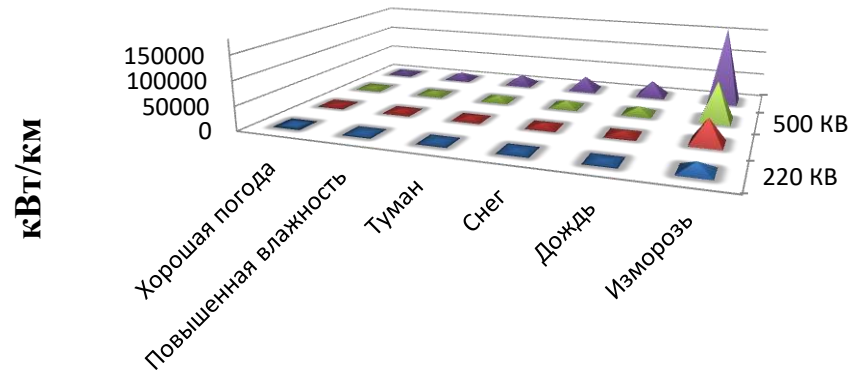
– рационального распределения приемников электроэнергии между подстанциями с учетом технологических особенностей производства;

– рационального выбора мест размещения подстанций.

Потери электроэнергии в проводах зависят от силы тока, чтобы уменьшить потери при передаче на значительные расстояния, напряжение многократно повышают, но с ростом напряжения начинает происходить ионизация воздуха вблизи линии электропередачи, что приводит к возникновению разряда, которое получило название «корона».

В основном потери на корону зависят от уровня рабочего напряжения сети, сечения проводов и конструкции фазы, но главным образом, от погодных уловий. Наибольшие потери стоят в сетях с напряжением 220 кВ и выше. В среднем в год потери мощности и энергии на коронный разряд воздушных линий (ВЛ) напряжением 330 кВ и 500 кВ составляют 12 %, а ВЛ напряжением 750 кВ – около 14 % от суммарных потерь.

Графически, как меняются потери на коронный разряд в различную погоду, представлено на рисунке.



	Хорошая погода	Повышенная влажность	Туман	Снег	Дождь	Изморозь
220 КВ	608	1268	1548	1856	2370	17953
330 КВ	1900	4028	5326	7616	7738	49716
500 КВ	3116	6266	10007	12382	14280	81755
750 КВ	6460	14174	20175	29406	31892	160196

График зависимости потерь энергии на корону от погодных условий при различном напряжении

В моменты плохой погоды, которая составляет от 10 до 20 % от всего времени в году, расходуется более 80 % всех потерь на корону. Одним из перспективных решений для борьбы с коронным разрядом является

получение и нанесение защитных покрытий, на поверхности которых не образуются капли при дожде и изморозь.

В таком случае потери на корону могут быть снижены на величину порядка 30 % или 10–15 % от всех потерь в ЛЭП.

Также возможны варианты с увеличение диаметра провода, расщепление провода и регулирование напряжения, но они являются менее эффективными.

При работе трансформатора имеют место потери, которые состоят из потерь холостого хода, возникающих вследствие перемагничивания аморфной стали сердечника, и нагрузочных потерь.

Снижение потерь можно достичь. благодаря трем факторам:

– применению улучшенных марок стали;

– усовершенствованию технологии изготовления магнитной системы и, особенно, раскроя стали;

– усовершенствованию конструкции сердечника, и, прежде всего, стыков листов.

Улучшение характеристик стали происходило за счет:

– улучшения ориентации доменов;

– уменьшения толщины листов;

– очищения доменов с помощью обработки лазером поверхности листов.

Улучшение ориентации и очищение доменов не влияют на технологию изготовления трансформаторов, тогда как уменьшение толщины листов стали приводит к увеличению количества листов магнитопровода и к повышению механической чувствительности материала.

Удары по стали, перегибы пластин, наклеп легко нарушают ориентацию кристаллов, увеличивают удельные потери и намагничивающую мощность. До сборки магнитопровода пластины стали обязательно проходят высокотемпературный отжиг в печах, восстанавливающий магнитные характеристики стали. Опыт показывает, что удельные потери в стали трансформатора в 1,3–1,5 раза выше, чем в исходном материале. В значительной степени это зависит от качества сборки. При хорошей сборке потери в магнитной системе трансформатора превышают потери в стали до начала ее механической обработки лишь на 25–30 %.

Имеется два варианта использования аморфной стали:

– применение обычной углеродистой стали с улучшенной ориентацией и контролируемым размером зерен и с уменьшенной толщиной листов;

– использованием ленты из аморфной стали.

Источники

1. Карчин В.В., Мясникова Т.В. Снижение потерь электроэнергии путем уменьшения неравномерности электропотребления // Вестник Чувашского университета. 2017. № 3. С. 90–98.
2. Бейтуллаева Р.Х. Меры по снижению потерь электроэнергии на промышленных предприятиях // Молодой учёный. 2018. № 11. С. 69–71.

УДК 620.179.14

МАГНИТНАЯ ФЕРРИТОМЕТРИЯ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОТЕЛЬНОГО ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ИЗ СТАЛИ МАРКИ ДИ59

Т.П. Пшеченкова[1], П.С. Шмычков[2]
[1,2]ОАО ВТИ, г. Москва
[1,2]tppshechenkova@vti.ru
Науч. рук. д-р техн. наук В.А. Богачев

Аннотация. Обосновано применение магнитной ферритометрии для выявления тепловой неравномерности и определения остаточного ресурса пароперегревателя из хромомарганцевой стали. Метод основан на появлении магнитных свойств в слое на наружной поверхности труб из аустенитной парамагнитной стали. Показан состав измененного слоя.

Ключевые слова: котёл, пароперегреватель, аустенитная хромомарганцевая сталь, изменённый слой, магнитная ферритометрия, тепловая неравномерность, остаточный ресурс.

В современных газомазутных и угольных котлах энергоблоков со сверхкритическими параметрами пара абсолютное большинство повреждений сосредоточено в элементах контура высокого давления: 76 % повреждений приходится на конвективные и ширмовые пароперегреватели, 21 % – на нижнюю и среднюю радиационные части. Основная причина повреждений – снижение предела длительной прочности и высокотемпературная коррозия металла на наружной поверхности труб. Эти процессы ускоряют перегревы выше расчётной или даже допустимой температуры. Для выходных ступеней пароперегревателей, где температура пара максимальна, применяются жаропрочные и жаростойкие аустенитные стали: хромоникелевая 12Х18Н12Т и хромомарганцевая 10Х13Г12БС2Н2Д2 (ДИ59). Пароперегреватели работают в условиях неравномерного распределения расхода теплоносителя, неоднородного поля скорости и температуры

дымовых газов. Неравномерное распределение расхода может быть следствием конструктивной нетождественности змеевиков. Эти факторы вызывают тепловую неравномерность и неравномерное разупрочнение металла [1, 2]. Например, отклонение от среднего уровня температуры на 10 °С в сторону увеличения сокращает срок службы змеевика в 1,7–1,9 раза. Расчет остаточного ресурса по условиям жаропрочности пароперегревателей базируется на результатах определения эквивалентной температуры эксплуатации наружной поверхности змеевиков по количеству вторичных фаз в структуре металла и напряжения в металле от внутреннего давления теплоносителя [3]. Эти данные получают при лабораторном исследовании ограниченного числа образцов, вырезанных из пароперегревателя. Для адекватной оценки остаточного ресурса всей поверхности нагрева и предупреждения повреждений змеевиков из-за разупрочнения вырезки необходимо делать из наиболее теплонапряженных змеевиков. В настоящее время в отечественной энергетике существует несколько методов выявления разверенных змеевиков. Наиболее часто применяется ультразвуковая толщинометрия. Змеевики с наибольшей температурой эксплуатации обладают наибольшей скоростью коррозии и, следовательно, наименьшей остаточной толщиной стенки, но из-за высокой жаростойкости аустенитных сталей в газовых и угольных котлах утонение стенки зачастую является настолько незначительным, что его не удается зафиксировать данным методом. Тотальный температурный контроль термометрическими вставками в обогреваемой зоне змеевиков реально невыполним. Контроль по температуре пара на выходе из коллекторов с помощью малого числа штатных термометров и даже дополнительных поверхностных термопар на отдельных змеевиках в необогреваемой зоне имеет оценочный характер, так как отражает только усредненную температуру и не способен выявить разверенные змеевики. Контроль по амплитуде магнитного поля рассеяния применяется только для пароперегревателей из перлитной стали и не распространяется из-за недостаточной чувствительности феррозондовых магнитометров на элементы из аустенитных сталей в газовых и угольных котлах.

Вышеупомянутые недостатки традиционных методов контроля не позволяются поднять качество диагностики пароперегревателей из аустенитных сталей. Назрела необходимость разработки нового метода выявления тепловой неравномерности.

Требования, предъявляемые к новому методу:

– метод должен быть неразрушающим и оперативным, не требовать специальной подготовки поверхности змеевиков для измерения параметра и применяться во время останова энергоблока;

– измеряемый параметр должен быть функцией температуры и времени эксплуатации, поскольку змеевики в пароперегревателе иногда имеют разную наработку;

– величина параметра должна быть тем больше, чем меньше долговечность.

Таким методом, по нашему мнению, может являться магнитная ферритометрия.

Довольно давно было замечено, что парамагнитные в исходном состоянии змеевики из аустенитных сталей, длительно работающие при высоких температурах, начинают притягивать магнит. Это явление было разносторонне изучено и легло в основу предлагаемого метода. Металлографическое изучение пароперегревателей из 12Х18Н12Т и ДИ59 котлов позволило установить, что режим эксплуатации оставляет след на наружной поверхности змеевиков в виде измененного по сравнению с матрицей слоя (рис. 1).

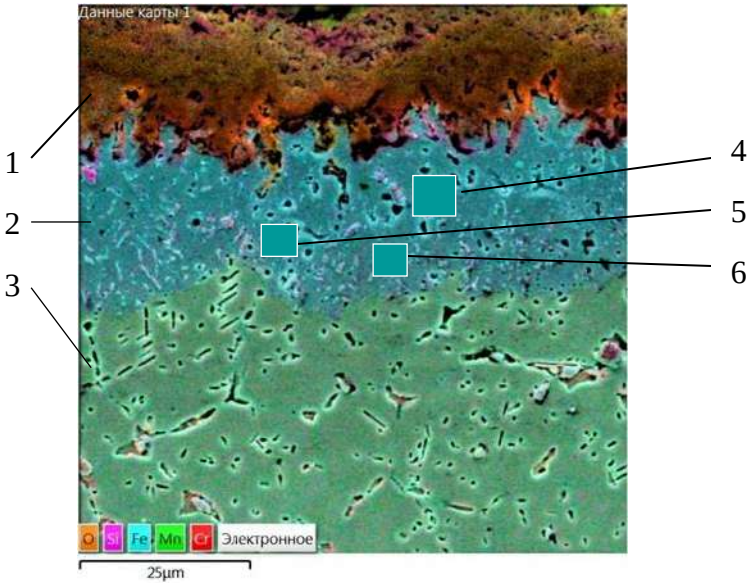


Рис. 1. Электронное изображение окалины и металла на наружной поверхности змеевика из стали марки ДИ59: 1, 2, 3 – соответственно окалина, изменённый слой, матрица; 4–6 – зоны химического анализа слоя

Измерение содержания ферритной фазы (СФФ) с помощью магнитного ферритометра МФ-51НЦ выявило ферромагнитное свойство измененного слоя. Показания ферритометра тем больше, чем выше температура и наработка [5]. Экспериментально подтверждено, что содержание ферритной фазы не зависит от напряжения в металле, это позволяет применять магнитную ферритометрию для диагностики тепловой неравномерности [6].

Исследование показало, что слой образовывается в результате селективного окисления и диффузии из матрицы в окалину элементов с наименьшей стандартной энергией образования сульфидов и оксидов, то есть с большим сродством к сере и кислороду [7]. В хромоникелевой стали слой обеднен железом, хромом, кремнием, полностью лишен марганца и титана, обогащен никелем, в хромомарганцевой стали слой обеднен хромом, полностью лишен марганца, меди и ниобия, обогащен железом (рис. 2). В хромоникелевой стали слой представляет собой $FeNi_3$, в хромомарганцевой – альфа-железо, именно этим объясняются ферромагнитные свойства слоев.

Магнитная ферритометрия обоснована результатами аналитического и экспериментального исследования эволюции изменённого слоя в аустенитных сталях марки 12Х18Н12Т, ДИ59 и ЭП184 [8, 9, 10], а также численного решения сопряжённых теплофизических задач для конвективных пароперегревателей с конструктивной нетождественностью пакетов [9].

Объектом исследования с помощью магнитного ферритометра служил конвективный пароперегреватель высокого давления второй ступени (КПП ВД-2) прямоточного котла сверхкритического давления типа ТГМП-344А энергоблока № 6 на ТЭЦ-26 «Мосэнерго». Обследование пароперегревателя из стали марки ДИ59 методом магнитной ферритометрии до этого ни разу не выполнялось. Выбор именно этого сложного для диагностики объекта объясняется разной наработкой блоков пакетов. Котёл преимущественно работает на природном газе. Пароперегреватель с вертикальной ориентацией в пространстве расположен в горизонтальном газоходе. Схема включения КПП ВД-2 прямоточная. Расчётные температура и давление пара на входе и выходе пароперегревателя составляют соответственно 506 и 545 ^{o}C, 26 и 25,4 МПа.

Пароперегреватель состоит из 6 блоков трёхзмеевиковых пакетов по 19 или 20 пакетов в каждом. Пакеты располагаются в коридорном порядке, змеевики в обогреваемой зоне изготовлены в четыре хода из трубы типоразмером 42/28 мм из стали марки ДИ59. На момент обследования наработка первого блока пакетов составила 71056 ч, второго – 65522 ч, третьего – 78606 ч, четвёртого – 56339 ч, пятого и шестого – 39564 ч. Согласно данным лаборатории металлов ТЭЦ-26 «Мосэнерго», за эксплуатационный период произошло повреждение лишь одного змеевика, порождённое кратковременным перегревом металла из-за локального нарушения циркуляции пара. Измерительным контролем змеевиков не обнаружено отклонение от номинальных размеров в сторону уменьшения, что свидетельствует о незначительной коррозии металла за время эксплуатации.

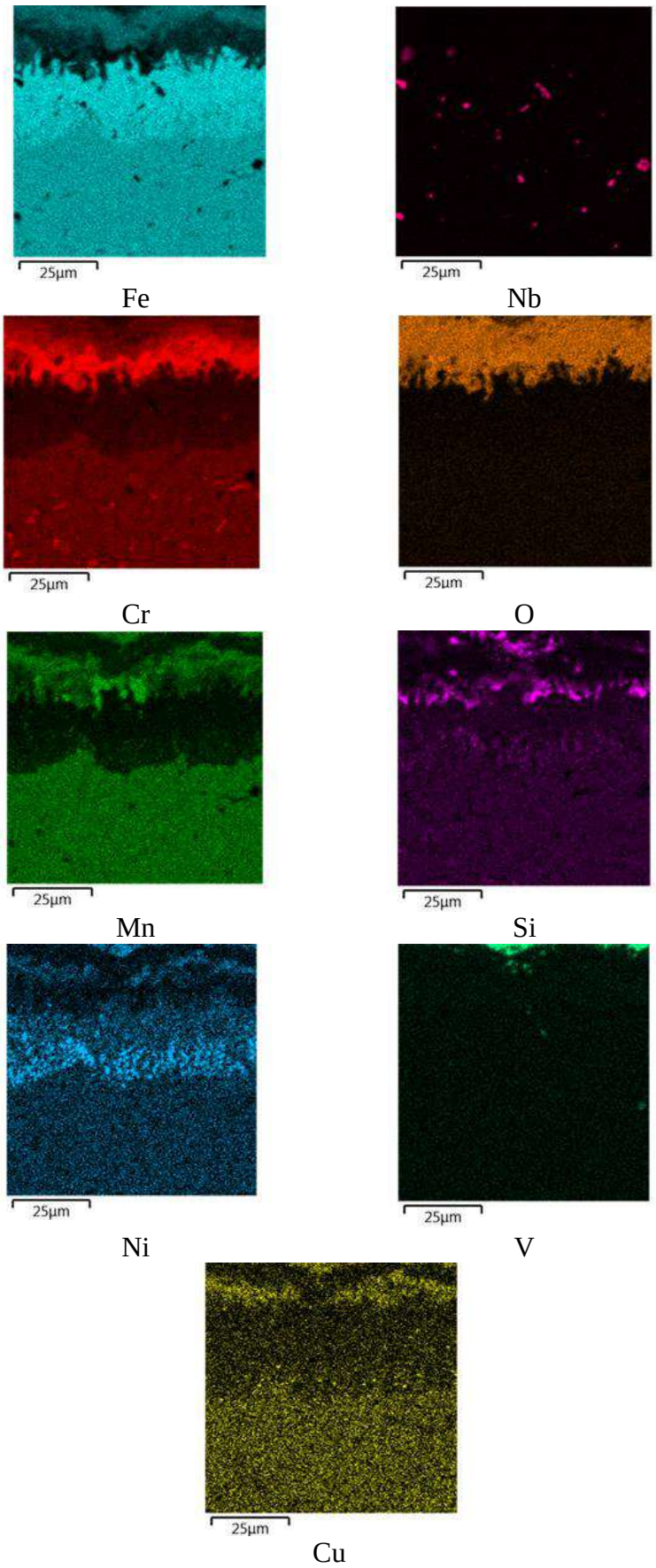


Рис. 2. Распределение химических элементов в окалине и металле на наружной поверхности змеевика из стали марки ДИ59

Содержание ферритной фазы в металле на наружной поверхности змеевиков КПП ВД-2 измерено отечественным магнитным ферритометром типа МФ-51НЦ AKASKAN [12]. Магнитный анализ проведён с использованием максимального из трёх измеренных значений для каждого змеевика. Распределение содержания ферритной фазы $C_ф$, %, вдоль тыловой образующей участков первых змеевиков в начале четвёртого хода по пакетам и средних значений $\overline{C}_ф$, %, по блокам пакетов показано на рис. 3, *а*, в соответствии с ним по росту количества фазы блоки пакетов располагаются в следующем порядке: шестой, пятый, четвёртый, второй и первый, третий. Такое распределение свидетельствует о росте содержания ферритной фазы по мере увеличения времени эксплуатации блоков и соответствует результатам экспериментального исследования [8]. Необходимо заметить, что в каждом блоке пакетов есть разверенные змеевики с $C_ф > \overline{C}_ф$.

Ресурсные характеристики змеевиков блоков пакетов КПП ВД-2 рассчитаны без учёта коррозии металла с помощью следующих уравнений для стали марки ДИ59 [6, 13]:

$$\overline{T}_{экв.н} = -\frac{5828}{\ln\left(\frac{\overline{C}_ф}{CO_2\sqrt[3]{\tau_э}}\right) - 7{,}1}; \quad (1)$$

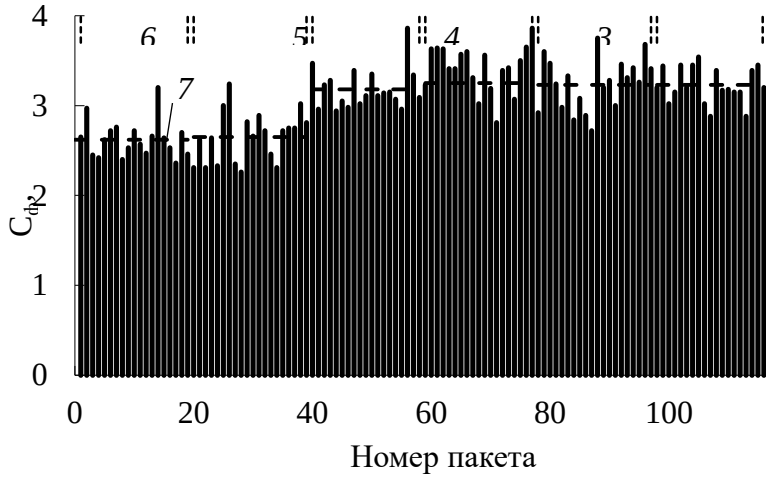
$$\sigma_0 = \frac{\rho_{и.вх}}{2}\left(\frac{D_н}{s_н} - 1\right); \quad (2)$$

$$\overline{\tau}_р = 10^{\frac{21360 - 2400\lg\sigma_0}{\overline{T}_{экв.н}} + 2\lg\overline{T}_{экв.н} - 19{,}56}; \quad (3)$$

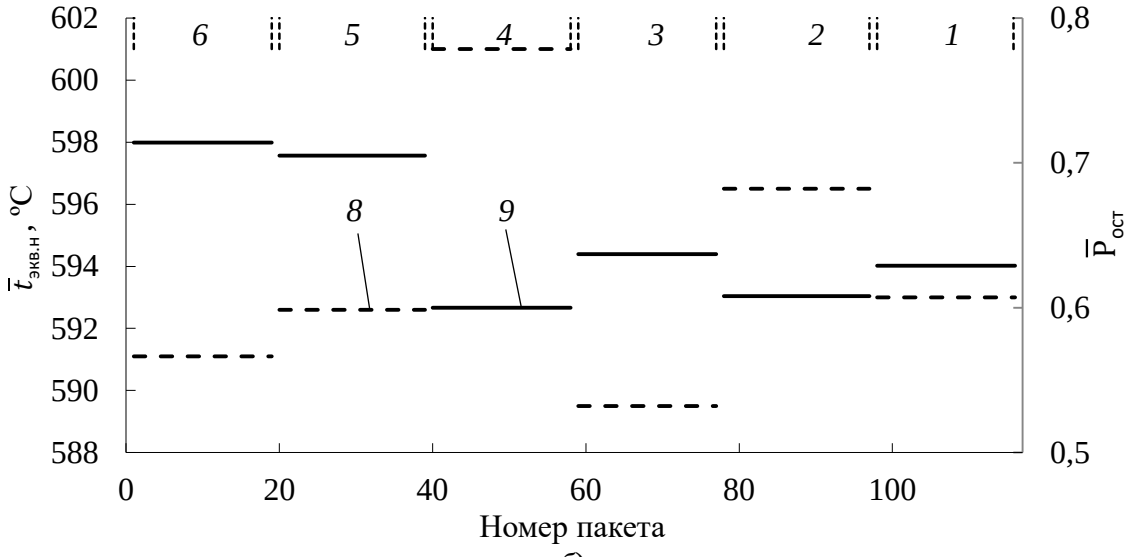
$$\overline{P}_{ост} = 0{,}8 - \frac{\tau_э}{\overline{\tau}_р}, \quad (4)$$

где $\overline{T}_{экв.н}$ – абсолютная средняя эквивалентная температура эксплуатации наружной поверхности змеевиков блока пакетов, К; CO_2 – концентрация кислорода в газовом тракте, кг/м^3; $\tau_э$ – время эксплуатации змеевиков блока пакетов, ч; σ_0 – приведённое напряжение в металле змеевиков, МПа; $\rho_{и.вх}$ – избыточное давление пара на входе в змеевики, МПа; $D_н$, $s_н$ – номинальные наружный диаметр и толщина стенки змеевиков,

соответственно, мм; $\overline{\tau}_{\text{р}}$ – среднее время до разрушения металла змеевиков блока пакетов, ч; $\overline{P}_{\text{ост}}$ – средняя доля остаточного ресурса змеевиков блока пакетов. Удовлетворительное совпадение результатов магнитной ферритометрии тепловой неравномерности с данными термометрии и металлографического анализа по содержанию σ-фазы в структуре металла пароперегревателя из стали марки ДИ59 получается при использовании CO_2 ≈ 0,0543 кг/м^3, что соответствует коэффициенту избытка воздуха в тракте α ≈ 1,15.



а)



б)

Рис. 3. Распределение содержания ферритной фазы (*а*), эквивалентной температуры эксплуатации и остаточного ресурса (*б*) по змеевикам блоков пакетов КПП ВД-2 из стали марки ДИ59: 1–6 – соответственно номер блока пакетов; 7 – $\overline{C}_{\text{ф}}$; 8 – $\overline{t}_{\text{экв.н}}$; 9 – $\overline{P}_{\text{ост}}$

Результаты расчёта показаны на рис. 3, *б*, в соответствии с которым по росту эквивалентной температуры эксплуатации блоки пакетов располагаются в следующей последовательности: третий, шестой, пятый, первый, второй, четвёртый. Максимальная температура четвёртого блока 601 ^{o}C значительно меньше предельной температуры 650 ^{o}C для пароперегревателя из стали марки ДИ59. По снижению доли остаточного ресурса блоки пакетов располагаются в следующем порядке: шестой, пятый, третий, первый, второй, четвёртый. Минимальная доля четвёртого блока 0,6 соответствует остаточному ресурсу не менее 5 $\cdot 10^5$ ч, что является основанием для продления срока службы КПП ВД-2 по условиям жаропрочности и жаростойкости.

Выводы:

1. В металле на наружной поверхности змеевиков паро-перегревателей из аустенитных сталей образуется изменённый по сравнению с химическим составом матрицы слой.

2. Слой обеднён элементами с максимальным сродством к окислителю и состоит преимущественно из фазы $FeNi_3$ в 12Х18Н12Т и α-Fe (феррита) в ДИ59.

3. Толщина слоя тем больше, чем выше температура и продолжительнее время эксплуатации. Показания ферритометра прямо пропорциональны толщине слоя.

4. Данные по магнитной ферритометрии позволяют надёжно определять тепловую неравномерность, эквивалентную температуру эксплуатации и остаточный ресурс пароперегревателей из аустенитных сталей по условиям жаропрочности.

Источники

1. Богачев В.А., Таран О.Е. Влияние тепловой неравномерности на температуру и надежность металла конвективных пароперегревателей // Электрические станции. 2002. № 2. С. 21–24.

2. Богачев В.А. Влияние предельных отклонений размеров труб на температуру и ресурс металла пароперегревателей // Электрические станции. 2006. № 1. С. 14–17.

3. СТО 70238424.27.100.005-2008. Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов ТЭС. Контроль состояния металла. Нормы и требования. М.: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. 142 с.

4. РД 10-577-03. Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. М.: ГУП НТЦ ПБ, 2003. 125 с.

5. Магнитный способ диагностики аустенитных труб поверхностей нагрева паровых котлов / В.А. Богачев [и др.] // Электрические станции. 1994. № 8. С. 11–13.

6. Богачев В.А., Пшеченкова Т.П., Шумовская М.А. Исследование структурных превращений в металле (аустенитной хромомарганцевой стали) на наружной поверхности пароперегревательных труб // Теплоэнергетика. 2016. № 4. С. 66–71.

7. Свелин Р.А. Термодинамика твердого тела. М.: Металлургия, 1968. 123 с.

8. Основы контроля тепловой неравномерности пароперегревателей из аустенитных сталей с помощью ферритометра / В.А. Богачев [и др.] // Теплоэнергетика. 2012. № 4. С. 14–21.

9. Богачев В.А., Пшеченкова Т.П., Школьникова Б.Э. Жаростойкость и избирательное окисление жаропрочной стали ЭП184 для пароперегревателей нового поколения котлов со сверхкритическими параметрами пара // Энергетик. 2014. № 5. С. 13–16.

10. Богачев В.А., Пшеченкова Т.П., Шумовская М.А. Результаты обследования пароперегревателей котла типа ТГМП-314 энергоблоков Каширской ГРЭС с помощью магнитного ферритометра // Теплоэнергетика. 2016. № 7. С. 31–37.

11. Богачев В.А., Пшеченкова Т.П. Исследование зависимости ресурсных характеристик конвективных пароперегревателей от числа повреждённых змеевиков // Электрические станции. 2016. № 12. С. 12–17.

12. ГОСТ 26364. Ферритометры для сталей аустенитного класса. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1991. 9 с.

13. Методика определения остаточного ресурса пароперегревателей из стали марки ДИ59 / В.А. Богачев [и др.] // Электрические станции. 2015. № 5. С. 16–20.

УДК 621.316.57

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА КОНТАКТОВ СИЛОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Ю.О. Самофалов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
rte_91@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук И.М. Валеев

Аннотация. В данной статье приводится анализ существующих методов оценки состояния контактов силовых выключателей.

Ключевые слова: надежность, силовой выключатель, контакт, электроснабжение, коммутационные аппараты.

На сегодняшний день рынок электросилового оборудования выпускает большой спектр коммутационных аппаратов от разъединителей различного типа до выключателей. Они отличаются как материалом изготовления, так и эксплуатационной надежностью. Основные изменения в развитии энергооборудования претерпели силовые коммутационные выключатели – за счет изменения среды дугогашения. Основной задачей силовых выключателей является отключение тока короткого замыкания. Силовые выключатели предназначены для осуществления коммутации как в нормальных режимах работы, так и в аварийных. Важно помнить, что для предприятий особенно важным аспектом является надежность электроснабжения, так как на предприятиях эксплуатируются потребители 1 и 2 категории надежности электроснабжения. Надежность электроснабжения влияет как безопасность эксплуатации технологического оборудования, так и на экономическую эффективность всего предприятия, так как простои в производстве влекут значительные финансовые убытки. Немаловажную роль в данном направлении несут силовые выключатели. Любые изменения в токовых цепях энергетических систем при нормальных и аварийных режимах выполняют выключатели, работа которых в большинстве случаев зависит от технического состояния дугогасительной камеры и привода.

Мерой износа контактов выключателей может служить изменение провала контактов, изменение их толщины и массы.

Изменение провала контактов может быть вызвано не только износом, но и механической деформацией контактодержателей. Более надежным показателем износа является изменение толщины контакта, так как оно не зависит от деформации контактодержателей. Непосредственно измерить толщину контактов бывает трудно, а иногда даже невозможно. В этих случаях толщину определяют на основании измерения других, зависящих от толщины контактов размеров.

Измерение уменьшения массы контактов представляет собой трудоемкую операцию, так как для этого требуется их отсоединение. Это может влиять на результаты измерения, так как при обратной установке контактов на место очень трудно в точности восстановить их прежнее положение, что может привести к ускорению износа контактов. По этим причинам измерение массы контактов обычно не практикуется при испытаниях контакторов на коммутационную износостойкость и производится только при сравнительных исследованиях контактных материалов.

Таким образом, в данное время существует острая проблема повышения надежности работы силовых выключателей ввиду затруднительности точной оценки износа их контактов.

Источники

1. Аполлонский С.М., Козярук А.Е., Куклев Ю.В. Испытания и системы контроля электрических аппаратов: учебное пособие для вузов. СПб.: Троицкий мост, 2015. 326 с.
2. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2015. 24 с.
3. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок: учеб. пособие для вузов. СПб.: Элмор, 2009. 336 с.
4. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 720 с.
5. Анализ времени перерывов в электроснабжении сельских потребителей и методы его сокращения за счет мониторинга технического состояния линий электропередачи / А.В. Виноградов [и др.] // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 2 (27). С. 3–11.

УДК 621.311.69

МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В.Ю. Саптиева
ФГБО ВО «КГЭУ», г. Казань
vika.saptieva@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Р.Н. Мухаметжанов

Аннотация. В данной работе рассмотрены основные показатели качества электрической энергии (ПКЭ), влияние качества электрической энергии на потребителей. Описано, кем и как осуществляется мониторинг КЭ.

Ключевые слова: показатель качества электрической энергии, напряжение, отклонение напряжения, колебания напряжения, мониторинг.

На сегодняшний день тема качества электроэнергии является актуальной, т.к. электроэнергия, поставляемая в наши дома, питающая электроприборы, не всегда удовлетворяет требованиям. Мы часто говорим: «напряжение просело», «напряжение прыгает», «скачки напряжения», «плохое напряжение». Разберемся с этими понятиями. Невозможно описать все нюансы в одной статье, т.к. в ГОСТ описание приводится на

нескольких десятках страниц, поэтому рассмотрим лишь общее понимание о качестве электроэнергии.

Основные показатели и нормы качества электрической энергии [1]:

– установившееся отклонение напряжения, $\delta U_{\text{у}}$;

– колебания напряжения, δU_1;

– доза фликера, P_t;

– коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, K_u;

– коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения, $K_{u(n)}$;

– коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, K_{2u};

– коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, K_{0u};

– отклонение частоты, δf;

– глубина и длительность провала напряжения, δU_n и Δt_n;

– импульсное напряжение, $U_{\text{имп}}$;

– коэффициент временного перенапряжения, $K_{\text{пер}U}$.

Отклонение напряжения характеризуется показателем становившегося отклонения текущего значения напряжения от номинального напряжения (рис. 1):

$$\delta U_y = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\,\%.$$

Рис. 1. Отклонение напряжения

Колебание напряжения характеризуется размахом изменения напряжения, частотой повторения изменений напряжения, интервалом между изменениями напряжения, дозой фликера.

Провал напряжения определяется показателем времени провала напряжения (рис. 2).

Рис. 2. Провал напряжения

Перенапряжение характеризуется амплитудным значением напряжения (рис. 3).

Рис. 3. Перенапряжение

Кроме стандарта [1], качество ЭЭ нормируется и другими нормативными актами. Для контроля качества ЭЭ применяются измерители и анализаторы, часто совмещенные в одном приборе.

Качество ЭЭ является необходимым условием безопасного применения электрооборудования и непосредственно сказывается на функциональности и сроках эксплуатации подключенных к электросети приборов как промышленного, так и бытового назначения. Проверка качества ЭЭ позволяет выявить проблемы, возникающие в сети, и предупредить выход из строя электрооборудования (холодильник, стиральная машина, микроволновая печь и т.д.). Анализ качества ЭЭ позволяет выявить места электрической сети, которые негативно влияют на всю электросеть и снижают её показатели в целом.

Анализируя создавшуюся ситуацию с качеством ЭЭ в сетях, приходим к выводу о том, что для устранения проблемы качества ЭЭ необходимо осуществлять мониторинг ПКЭ.

Мониторинг КЭ (одиночные, периодические и непрерывные обследования КЭ и наблюдения за ПКЭ) проводят по планам сетевых организаций и потребителей ЭЭ, при определении ТУ для технологического присоединения энергопринимающих устройств к электрической сети, допуске к эксплуатации энергопринимающих устройств, искажающих потребителей, подготовке электрических сетей к сертификации ЭЭ, разработке мероприятий по улучшению КЭ и др. От целей мониторинга зависят его продолжительность, номенклатура измеряемых ПКЭ и других характеристик ЭЭ, а также требования к оценке результатов [3]. Проводить замеры КЭ могут только электролаборатории, аттестованные Ростехнадзором, имеющие высокоточные измерительные приборы. Результаты проведенной проверки записываются в протокол. При несоответствии на сетевую компанию накладываются штрафные санкции.

В случае нарушения требований энергоснабжающей организацией, предъявляемых к КЭ, абонент вправе отказаться от оплаты ЭЭ (но при этом нужно предоставить доказательства в виде замеров сети). Порядок обращения с претензиями к энергоснабжающей организацией дан в типовом регламенте рассмотрения жалоб потребителей на качество электрической энергии, утвержденной Приложением к приказу ОАО РАО «ЕЭС России» от 21.04.2008 № 206, размещенное на сайте РАО «ЕЭС России». В данном регламенте подробно описано, какие документы необходимо предоставить, а также предоставлен непосредственно сам порядок рассмотрения обращения в энергосбытовую организацию.

Источники

1. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.

2. ГОСТ Р 54130-2010. Качество электрической энергии. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2012. 32 с.

3. ГОСТ 33073–2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2015. 41 с.

УДК 621.3

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ И РАЗВИТИЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

К.З. Себегатов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Kamil384@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук О.В. Наумов

Аннотация. Государственной программой РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [1] поставлена задача «обеспечить снижение потерь в электрических сетях до 8 % в 2020 году». С целью повышения эффективности и надежности работы электрических сетей запланирован большой объем работ по реконструкции трансформаторных подстанций, воздушных и кабельных линий, замене трансформаторов, внедрению АИИС КУЭ у потребителей электроэнергии, замене однофазных индукционных счетчиков электроэнергии класса точности 2,5 на новые приборы с классом точности 2,0 или 1,0. В качестве основных организационных мер предусматриваются внедрение систем мониторинга энергосбережения и энергетической эффективности и энергоменеджмента.

Ключевые слова: энергосбережение, энергетическая эффективность, электроэнергия, потребитель, электрические сети.

Государственной программой РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [1] поставлена задача «обеспечить снижение потерь в электрических сетях до 8 % в 2020 году». С целью повышения эффективности и надежности работы электрических сетей запланирован большой объем работ по реконструкции трансформаторных подстанций, воздушных и кабельных линий, замене трансформаторов, внедрению АИИС КУЭ у потребителей электроэнергии, замене однофазных индукционных счетчиков электроэнергии класса точности 2,5 на новые приборы с классом точности 2,0 или 1,0. В качестве основных организационных мер предусматриваются внедрение систем мониторинга энергосбережения и энергетической эффективности и энергоменеджмента.

Результаты энергетических обследований электрических сетей и экспертизы, обосновывающих материалов по нормативам технологических потерь электроэнергии, со всей очевидностью свидетельствуют о необходимости:

– совершенствования нормативной базы и системы стимулирования персонала электросетевых компаний в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

– повышения точности расчетов потерь и балансов электроэнергии, в особенности, в электрических сетях 0,4–10 кВ, определения величины и локализации коммерческих и сверхнормативных технологических потерь электроэнергии;

– повышения точности оценки расчетной (планируемой) и фактической эффективности мероприятий по снижению потерь электроэнергии;

– формирования комплексного и системного подхода к повышению энергетической эффективности электрических сетей, под которой должно пониматься не только снижение потерь электроэнергии на ее передачу, но и повышение надежности, качества электроснабжения потребителей, повышение пропускной способности электрических сетей, оптимизация затрат на обслуживание и развитие;

– учета тенденций и практики разработки и внедрения новой техники и технологий передачи, и распределения электроэнергии, новых информационных технологий интеллектуального управления электрическими сетями, потреблением электроэнергии, интеллектуальных систем учета (SmartGrid и SmartMetering).

Цель настоящего исследования – проиллюстрировать функциональные возможности и основные составляющие эффективности внедрения и использования объединенного программно-технического комплекса на основе интеграции SCADA «ЭНТЕК», АИИС «Меркурий-Энергоучет», «РТП 3» и «SAP».

Цель интеграции и создания объединенного программно-технического комплекса (ПТК):

– сокращение времени поиска технологических нарушений в электрических сетях;

– оптимизация нормальных, ремонтных и послеаварийных режимов;

– снижение затрат на обслуживание систем учета, диспетчеризации телемеханики, АСУ ТП и управления активами;

– повышение достоверности расчета режимов, потерь, балансов мощности и электроэнергии;

– оптимизация планирования развития электрических сетей;

– снижение тарифов на услуги по передаче электрической энергии и тарифов на электроэнергию для конечных потребителей.

Задачами ПТК являются:

– оперативный контроль режимов работы электрических сетей;

– дистанционное управление, в том числе автоматизированное оборудованием объектов РЭС;

– учет технического состояния оборудования по результатам диагностики и энергетических обследований;

– планирование развития, реконструкции и модернизации электрических сетей, снижения потерь электроэнергии, повышения надежности и качества электроснабжения.

Автоматизированные системы SCADA «ЭНТЕК» и АИИС «Меркурий-Энергоучет» позволяют создавать высокопроизводительные системы учета, контроля параметров электроснабжения, телемеханики и АСУТП подстанций электрических сетей и комплексно решать следующие оперативные задачи [2]:

• телемеханизация и учет на ПС 110–35–10 кВ, РТП 6–20 кВ, ТП 10–0,4 кВ, реклоузеры:

– учет электроэнергии;

– контроль параметров качества электроэнергии;

– охранная и пожарная сигнализация;

– видеорегистрация и видеонаблюдение;

– телесигнализация и телеуправление;

• информационное обеспечение оперативно-диспетчерского управления:

– сбор и первичная обработка информации;

– контроль достоверности информации;

– аварийная и технологическая сигнализация;

– создание многофункционального диспетчерского интерфейса;

• функциональные задачи по мониторингу схемных и режимных параметров:

– контроль и анализ балансов и фактических потерь электроэнергии в электрической сети и на подстанциях;

• функциональные задачи по управлению нагрузкой и секционирование электрической сети:

– выдача сообщений диспетчеру о превышении лимита мощности конкретного потребителя либо его автоматическое отключение;

– возможность перераспределения мощности потребителя в зависимости от времени суток и сценариев потребителя.

Эффективное управление эксплуатацией и развитием распределительных электрических сетей – комплексная задача повышения надежности, качества электроснабжения потребителей и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях до технико-экономически обоснованного уровня.

Интеграция программно-технических комплексов SCADADMS, АИИС КУЭ, автоматизированных систем расчета и анализа режимов

работы электрических сетей, потерь электроэнергии в них, управления технологическими активами и расчета потребленной электроэнергии позволяет повысить точность, оперативность и обоснованность расчета режимов электрических сетей, потерь мощности и электроэнергии в них, локализовать места систематических перегрузок, более обоснованно планировать выполнение ремонтных и эксплуатационных работ, а также работ по модернизации и реконструкции электросетевого оборудования.

Источники

1. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»: утв. распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.
2. Севостьянов А.В. Цифровое информационное пространство управления распределением электроэнергии // Автоматизация и IT в энергетике. 2010. № 11 (16). С. 33–37.

УДК621.316.11

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–35 кВ В РЕМОНТНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

И.В. Соловьева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
solirina782@mail.ru
Науч. рук. Ю.К. Ильясова

Аннотация. В данной работе рассмотрены распределительные электрические сети 6–35 кВ, а именно: влияние ремонтного состояния сетей, их нагрузки и конфигурации на рост потерь электроэнергии. В ходе работы производится сопоставление потерь электроэнергии при нормальном режиме работы и при ремонтном состоянии сетей. На основе результатов сопоставления формируется упрощенный алгоритм расчета потерь электроэнергии в ремонтном состоянии электрических сетей.

Ключевые слова: потери электроэнергии, ремонтный режим, нормальный режим, параметры режима, алгоритм расчета, характерные сутки.

При текущей эксплуатации распределительных электрических сетей (РЭС) ее конфигурация постоянно меняется из-за периодических плановых или аварийных работ, ремонтов различных участков сети. Вследствие этого увеличиваются потери электроэнергии (ЭЭ). Для учёта этих

изменений необходимо вносить поправку в результаты расчёта потерь ЭЭ, выполняемого по исходной схеме для нормального режима сети. Актуальность ниже представленного алгоритма состоит в упрощении расчета потерь ЭЭ, и, как следствие, снижение трудоёмкости ежемесячных отчетов по потерям ЭЭ с сохранением качества анализа потерь по неизменной исходной схеме. В связи с этим установление такой поправки, нетрудоёмкое её определение и составляет цель рассматриваемых в данной работе результатов исследования.

С помощью метода статистических испытаний производится определение увеличения потерь ЭЭ в ремонтном состоянии электрических сетей и установление соответствующих закономерностей. На основе моделирования различных конфигураций сетей, а также расчёта характеристик режимов (отпуска, потребления и потерь ЭЭ) воспроизводится полный баланс по ЭЭ исследуемых РЭС [3].

При ремонтных работах потери ЭЭ в сети в течение суток вычисляются в результате непосредственного интегрирования суммарных потерь активной мощности ΔP_j определяемых из расчетов установившихся режимов электрических сетей на d интервалах постоянства суточных графиков электрических нагрузок:

$$\Delta W_i = \int_0^T \Delta P(t)dt = \sum_{j=1}^{d} \Delta P_j t_j \qquad (1)$$

Суммирование потерь ЭЭ выполняется с учетом длительности ремонтного режима от 1 до 30 суток в течение рассматриваемого месяца. Такое расчетное моделирование роста потерь ЭЭ в сетях выполнено для возможного интервала изменения их загрузки ε (от 20 до 80 %).

Моделирование выполнено путем сопоставления потерь ЭЭ в сетях в ремонтном состоянии с потерями ЭЭ в исходной сети в режиме нормального электроснабжения.

$$\delta W_{\text{отн}}^{\text{эксп}} = \frac{\Delta W_{P.\text{рем}} - \Delta W_{P.\text{норм}}}{W_{P.\text{норм}}} \cdot 100, \qquad (2)$$

где $\delta W_{\text{отн}}^{\text{эксп}}$ – изменение между потерями ЭЭ в ремонтном режиме и потерями ЭЭ в режиме нормального электроснабжения, %; $\Delta W_{P.\text{рем}}$ – потери ЭЭ в сети в ремонтном режимом электроснабжения, кВт·ч; $\Delta W_{P.\text{норм}}$ – потери ЭЭ в сети в режиме нормального электроснабжения, кВт·ч; $W_{P.\text{норм}}$ – суммарная ЭЭ, отпущенная в сеть в режиме нормального электроснабжения, кВт·ч.

Потери ЭЭ в сопоставляемых сетях (в ремонтном и нормальном режимах работы) за рассматриваемый месяц определяются посредством метода характерных суток [3]:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{D} \Delta W_i N_i \,, \tag{3}$$

где ΔW – суммарные потери ЭЭ на месячном интервале кВт·ч; D – число видов характерных суток; ΔW_i – потери ЭЭ за *i*-ые характерные сутки, кВт·ч; N_i – число характерных суток соответствующего вида.

Изменения электрических нагрузок в течение месяца учитываются посредством графиков нагрузки трёх характерных суток: рабочих суток со сниженной нагрузкой (понедельник, пятница – 9 сут/мес. – первые характерные сутки); рабочих суток с наибольшей нагрузкой (вторник, среда, четверг – 13 сут/мес. – вторые характерные сутки); выходных суток (суббота, воскресенье – 8 сут/мес. – третьи характерные сутки).

Внутрисуточные изменения электропотребления характерных суток моделируются с помощью отраслевых графиков нагрузок [4]. Расчёт параметров стационарных режимов выполнен с использованием промышленной программы расчёта и анализа параметров установившихся режимов REG10PVT, реализующей алгоритм расчёта потерь ЭЭ по данным системы головного учёта [1, 2]. Программа позволяет определить норматив потерь ЭЭ и его составляющие, а также производит расчет установившегося режима.

Из *m* схем РЭС с ремонтным режимом электроснабжения различного состава и разветвлённости получают экспериментальные зависимости относительного значения изменения потерь ЭЭ $\delta W_{\text{отн}}^{\text{эксп}}$ по формуле (2) в сетях с длительностью ремонтного режима электроснабжения от 1 до 30 сут и с загрузкой сетей в наиболее возможном интервале их работы от 20 до 80 %.

Далее результаты расчётных экспериментов на месячном интервале режима ремонтного электроснабжения усредняются. Абсолютные средние линейные отклонения δ (относительные значения ошибки усреднения) результатов эксперимента над *m* схемами в пределах *T* суток действия ремонтной схемы определяются по формуле:

$$\delta = \frac{1}{mT} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{T} \left| \delta_{ij} - M\delta_j \right| , \tag{4}$$

где δ_{ij} – относительное значение ошибки для *j*-ых суток и *i*-ой схемы;

$M\delta_j$ – математическое ожидание ошибки для *i*-ой схемы.

Далее с помощью метода наименьших квадратов выполняется аналитическое обобщение полученных зависимостей роста относительного значения потерь ЭЭ $\delta W_{\text{отн}}$ от изменения загрузки сети ε (20–80 %) и числа суток *T* ремонтного режима электроснабжения (*a* и *b* – коэффициенты).

$$\delta W_{\text{отн}} = (a + b \cdot \varepsilon) \cdot T \,. \tag{5}$$

Связь теоретической зависимости (5) с экспериментальными данными оценивается коэффициентом корреляции:

$$r_{\text{эксп.теор}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\delta_i^{\text{эксп}} - M\delta_i^{\text{эксп}})(\delta_i^{\text{теор}} - M\delta_i^{\text{теор}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\delta_i^{\text{эксп}} - M\delta_i^{\text{эксп}})^2 \sum_{i=1}^{n}(\delta_i^{\text{теор}} - M\delta_i^{\text{теор}})^2}} \tag{6}$$

где $r_{\text{эксп.теор}}$ – коэффициент корреляции между экспериментальными и теоретическими относительными значениями потерь ЭЭ; $\delta_i^{\text{эксп}}$ – экспериментальное относительное значение ошибки; $M\delta_i^{\text{эксп}}$ – математическое ожидание экспериментального относительного значения ошибки; $\delta_i^{\text{теор}}$ – теоретическое относительное значение ошибки; $M\delta_i^{\text{теор}}$ – математическое ожидание теоретического значения ошибки.

«Добавка» потерь δW ЭЭ, вызванная ремонтным режимом, вычисляется как:

$$\delta W = \frac{\delta W_{\text{отн}}}{100} \cdot W_{\Gamma} \,, \tag{7}$$

где W_{Γ} – отпуск активной ЭЭ через головной участок сети, кВт·ч.

Потери ЭЭ за рассматриваемый месяц определяются путем суммирования потерь ЭЭ в нормальной схеме сети $\Delta W_{\text{норм}}$ и «добавки» потерь, вызванной ремонтным состоянием сетей δW:

$$\Delta W_{\text{уточ}} = \Delta W_{\text{норм}} + \delta W \,, \tag{8}$$

$\Delta W_{\text{уточ}}$ – уточнённое значение потерь ЭЭ за отчётный месяц, кВт·ч;

Большинство РЭС работает в аналогичных условиях: в разомкнутом состоянии имеют типичную радиально-магистральную конфигурацию и загруженность в интервале, охваченном данными статистическими

испытаниями. При возникновении ситуаций анализируемого ремонтного режима электроснабжения рост потерь ЭЭ в РЭС можно нетрудоёмко определить с помощью уравнения (5) и итогового соотношения (8) с достаточной для практических целей точностью.

Оценка дополнительных сверхнормативных технических потерь ЭЭ в РЭС при ремонтных режимах электроснабжения позволяет выполнить стоимостную оценку дополнительных издержек в эксплуатационных расходах сетевых компаний и планировать ремонтные работы в распределительных сетях на период минимальных нагрузок. К тому же, как это уже говорилось ранее, «добавка» потерь упростит расчет потерь ЭЭ, снизит трудоёмкость ежемесячных отчетов с сохранением качества анализа потерь по неизменной исходной схеме.

Источники

1. Железко Ю.С., Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. М.: НЦ ЭНАС, 2004. 280 с.
2. Герасименко А.А., Тимофеев Г.С. Учёт схемно-структурных и режимно-атмосферных факторов при расчёте потерь электроэнергии по данным головного учёта // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. № 3 (24). С. 287–293.
3. Герасименко А.А. Пузырев В.В. Оценка влияния длительности ремонтного состояния электрической сети на рост потерь электрической энергии // Электрические станции. 2017. С. 21–30.
4. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие. Р.н/Д.: Феникс, 2008. 720 с.

УДК 621.316.1

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЕГО РАБОТЫ

Л.Т. Тухватуллин[1], Е.Г. Степанова[2]

[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]leonidtk4@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Р.Г. Хузяшев

Аннотация. В данной статье рассмотрен проект создания программно-аппаратного комплекса определения места повреждения в распределительной сети 6–10 кВ волновым методом ОМП, одной из наиболее важных частей работы которого

является анализ и выявление дополнительной информации из осциллограмм сигналов напряжения переходного процесса, образующегося в результате повреждения сети.

Ключевые слова: электрические сети, место повреждения, мониторинг, анализ, переходной процесс, волновой метод ОМП, осциллограмма.

На сегодняшний день наибольшее количество аварий в электрических сетях всех классов напряжения происходит в сетях среднего напряжения (6–10 кВ). Данные сети имеют сложную топологию в виде главных питающих магистралей (фидеров) и большого количества отходящих от них отпаек. Вследствие этого при авариях в таких сетях для поиска аварийного участка и места повреждения приходится отключать весь фидер и потребителей, подключенных к нему. Локализация повреждения длится, в среднем, от 4-х до 6-ти часов, и в течение этого времени электросетевые компании несут экономические убытки в виде недоотпуска электроэнергии, а потребители не получают электричество. Решением, позволяющим уменьшить влияние аварий в сетях на потребление электроэнергии, является цифровизация подстанций и электрических сетей среднего напряжения. В результате такой цифровизации и создания «умных сетей» существующие сети будут определять поврежденный участок, локализовывать его и восстанавливать электроснабжение на здоровых участках самостоятельно. Вследствие этого существенно снизятся потери электроэнергии у электросетевых организаций, а также улучшатся показатели качества электроснабжения потребителей.

Для локализации аварийных участков уже используют «реклоузеры». Эти устройства устанавливаются в сети; в случае аварии они расцепляют линию, таким образом, место повреждения отключается от питания. Однако реклоузеры имеют большую цену, поэтому их устанавливают в небольшом количестве (зачастую – 1, 2 на один фидер). Вследствие этого определенный поврежденный участок будет иметь большую протяженность, и для определения места повреждения также потребуется большое количество времени, в течение которого потребители, подключенные к поврежденному участку, будут отключены.

Для решения этих задач был разработан программно-аппаратный комплекс дистанционного определения места повреждения (ОМП) [1]. Этот проект направлен на решение проблемы ОМП в распределительной сети 6–10 кВ, обладающей разветвленной или древовидной структурой. В настоящее время автоматизированные комплексы ОМП не получили широкого применения в таких сетях, что увеличивает время поиска места

повреждения путем пешего обхода аварийного фидера сети сотрудниками оперативно-выездной бригады.

На основе анализа возможности устройством определять место или участок повреждения волновым методом ОМП или методом сравнения полярности сигнала переходного процесса (ПП) можно выделить следующие аналоги данного комплекса:

1) устройство Бреслер-0107.085 реализует волновой метод для определения места повреждения. Его отличительной особенностью является то, что оно не может устанавливаться в трансформаторные подстанции (ТП) 10/0,4 кВ и распределительные пункты (РП) без дополнительных затрат, так как оно осуществляет обработку сигналов тока и напряжения нулевой последовательности, а измерительные трансформаторы тока и напряжения нулевой последовательности в ТП и РП не встраиваются без наличия кабельной вставки. Также данное устройство не реализует метод определения направления прихода сигнала ПП по мгновенной мощности переднего фронта сигнала ПП [2];

2) устройство НТБЭ 430.000.000 реализует метод определения направления прихода сигналов ПП. Его отличительными особенностями являются то, что оно не устанавливается в ТП или РП (производятся измерения сигналов нулевой последовательности) и не использует волновой метод ОМП [3].

В отличие от этих устройств программно-аппаратный комплекс предполагает установку в ТП или РП, так как он производит анализ фазных сигналов, реализуя волновой метод ОМП. Установка внутри ТП или РП решает проблему чрезмерных температурных воздействий на устройство и проблему вандализма.

Данный комплекс разработан на основе волнового метода ОМП (ВОМП). Данный метод является наиболее эффективным из всех имеющихся.

По этому методу в сетях среднего напряжения на комплектных трансформаторных подстанциях (КТП) 10/6(0,4) кВ устанавливаются датчики, фиксирующие время прихода сигнала напряжения переходного процесса (ПП), формируемого в месте повреждения и распространяющегося по всей сети. Сигналы ПП фиксируются устройствами в единой спутниковой шкале времени. Информации о времени прихода сигналов ПП, зафиксированной датчиками, установленными на концах наиболее значительных ответвлений древовидной сети, достаточно для ОМП разностным методом при заранее известных координатах установленных устройств. Информация с каждого

датчика передается на удаленный сервер по сотовым каналам связи, где совместно обрабатывается. Весь процесс ОМП занимает десятки секунд, что существенно ускоряет обнаружение, а впоследствии и ликвидацию аварийного режима сети. Для уменьшения затрат, связанных с монтажом устройств на КТП, сигналы напряжения ПП снимаются с шин высокого напряжения силового трансформатора.

Наиболее важной частью работы разработанного ПАК является анализ и выявление дополнительной информации из осциллограмм сигналов напряжения переходного процесса, образующегося в результате повреждения сети. Для реализации данного анализа можно использовать следующие инструменты:

– программный комплекс PSCAD (Power Systems Computer Aided Design). Благодаря данной программной среде, включающей в себя удобный и многофункциональный графический интерфейс, пользователь может упрощенно изображать электрическую сеть из имеющихся в библиотеке разнообразных моделей элементов электроэнергетической сети (ЭС), моделировать, выполнять анализ результатов, управлять данными;

– искусственная нейронная сеть. Эта сеть является адаптивной системой, которая позволяет устанавливать связи между выходными характеристиками системы и входными факторами. Частным упрощенным случаем этой сети является корреляционный анализ. Такая сеть способна классифицировать сигналы напряжения переходного процесса, что важно для работы оперативного персонала, обслуживающего электрические сети.

С помощью данных инструментов можно выполнить следующие исследования сигналов переходного процесса энергосистемы:

– исследования параметров дисперсии сигналов переходного процесса (скорость распространения, затухание, длительность переднего фронта) при учете сосредоточенных неоднородностей на линии электропередач, таких как ответвления и входное сопротивление силового трансформатора в КТП;

– исследование величины частоты свободных колебаний сигналов переходного процесса как функции места его регистрации и места его возникновения;

– исследование взаимной связи сигналов тока и напряжения переходного процесса на разном удалении от места его возникновения.

Также классифицируя полученные сигналы переходного процесса, можно получить следующую дополнительную информацию:

– различие сигналов переходного процесса при нормальных и аварийных коммутациях;

– зависимость длительности переднего фронта сигнала переходного процесса от расстояния до места его возникновения;

– зависимость частоты свободных колебаний сигнала переходного процесса от его места возникновения;

– пофазное различие сигналов переходного процесса.

Таким образом, важнейшей частью работы программно-аппаратного комплекса является не только определение места повреждения в распределительной сети 6–10 кВ волновым методом ОМП, но и анализ осциллограмм сигналов напряжения переходного процесса, позволяющий сотрудникам оперативно-выездной бригады руководствоваться дополнительной информацией о коммутации, образовавшейся в результате повреждения сети.

Дальнейшим шагом в научной работе планируется расширение получаемой дополнительной информации из анализа осциллограмм.

Источники

1. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Новиков С.И. Программно-аппаратный комплекс волнового метода определения места повреждения в сетях 6–10 кВ // Международная конференция и выставка «РЗА-2017»: матер. конф. СПб., 2017. С. 1179–1185.

2. Устройство «Бреслер» [Электронный ресурс]. URL: https://www.bresler.ru/oborudovanie-zazemleniya-nejtrali/220-sistema-opredeleniya-povrezhdennogo-fidera-raspredelennoj-struktury (дата обращения: 19.10.2019).

3. Устройство НТБЭ [Электронный ресурс]. URL: http://ntbe.ru/produktsiya/sistema-opredeleniya-povrezhdennogo-fidera-opf (дата обращения: 19.10.2019).

УДК 621.31

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА 110–500 кВ

Р.Р. Хамидуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ramis_hamidullin@mail.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук В.К. Козлов

Аннотация. Описаны принципы функционирования и конструктивные элементы современных аппаратов в области измерения и преобразования токов, такие

как катушки Роговского, измерительные оптические трансформаторы, токовые датчики, работающие на использовании эффекта Холла. Описано их применение в устройствах, используемых для измерения уровней переменного тока, а в цепях – защиты и управления подстанционного оборудования, позволяющие значительно уменьшить массу оборудования, а также повысить точность и быстродействие.

Ключевые слова: электрические сети, трансформатора тока, катушки Роговского, эффект Фарадея, оптический трансформатор, эффект Холла.

Использование всего класса устройств релейной защиты от повышенного уровня тока, а также применение систем, позволяющих автоматически управлять загрузкой синхронных генераторов по активной и реактивной мощности, предполагает применение измерительных аппаратов тока. Долгие годы для этих целей применялись электромагнитные трансформаторы тока (ТТ) [1–3]. В течение последних 10–15 лет развитие технологий позволило начать процесс замены трансформаторов токов на альтернативные измерительные устройства. Этот процесс объясняется существенными недостатками и проблемами в эксплуатации классических трансформаторов тока [3, 4].

В первую очередь, электромагнитным трансформаторам свойственны большие размерно-массовые характеристики: так при уровне напряжения, превышающем 35 кВ, подобным измерительным преобразователям характерны, излишняя дороговизна и громоздкость. Даже встраиваемые трансформаторы тока, устанавливаемые в вводах высоковольтных выключателей и силовых трансформаторов, обладают существенно меньшей массой, чем отдельно стоящие ТТ. При напряжении 220 кВ они весят уже более 150 кг [3], что представляется крайне неразумным, с учетом того факта, что мощность их вторичной нагрузки редко превышает уровень в 40 ВА.

При этом следует отметить, что при значительных по величине измеряемых токах проявляются нелинейные характеристики, присущие магнитным сердечникам трансформаторов токов, а накладываемые при этом на них эффекты насыщения магнитных материалов, влияние апериодической составляющей тока и остаточная намагниченность значительно снижают точность измерения и искажают форму токов кривой.

Достаточно часто, после протекания тока через измерительный трансформатор тока, значительно превышающий его номинальный или содержащий апериодическую составляющую, наблюдается эффект остаточного намагничивания. Это порождает проблему интерпретации его показателей, так в несколько раз возрастает ошибка измерения, а приведение уровня намагниченности к паспортным значениям занимает по времени от восьми часов до нескольких суток, особенно в области измерений менее 20 % от номинальных значений.

Не следует также забывать и про возникновение коммутационных перенапряжений при размыкании вторичных обмоток трансформаторов тока.

Для некоторых географических районов не следует забывать, что масляные и элегазовые ТТ обладают пониженной сейсмоустойчивостью.

Таким образом, с появлением миниатюрных измерителей тока с маленьким уровнем входной мощности и облегченным подключением к микропроцессорным устройствам следует отказаться от применения в проектной практике электромагнитных трансформаторов. Кроме того, развитие цифровых каналов связи, а также рост требований к уровню электрической безопасности и экономической эффективности будет неуклонно сужать возможности применения подобных преобразователей.

В измерительных трансформаторах тока можно выделить три перспективных направления развития:

– измерительный преобразователь тока (ИПТ) на основе эффекта Холла;

– ИПТ на основе эффекта Фарадея;

– ИПТ на основе катушек Роговского.

Если проводник с протекающим по нему током поместить в магнитное поле таким образом, чтобы добиться перпендикулярности тока направлению магнитных силовых линий, то возникнет поперечное электрическое поле, значение которого пропорционально произведению силы тока и плотности магнитного потока. Подобный эффект был обнаружен при исследовании полупроводников и получил название эффекта Холла, при этом он сохраняется и в проводящих ток материалах.

Измерительным преобразователям, работающим на эффекте Холла, присуща высокая точность, миниатюрность, а также возможность измерять постоянную составляющую. Такие ИПТ находят широкое применение в силовой электронике и в системах управления электроприводами. При этом в случае их применения в высоковольтных цепях, такое достоинство как миниатюрность не играет существенной роли, так как магнитный концентратор, в воздушный зазор которого помещается измерительный преобразователь напряжённости магнитного поля, созданного измеряемым током, должен иметь большой диаметр, чтобы обеспечивать необходимое расстояние концентратора от высоковольтного проводника с измеряемым током. Также следует отметить и такой относительный недостаток данного преобразователя, как высокие требования к качеству постоянного оперативного тока [5–8].

В последние годы наиболее быстро развиваются такие измерительные преобразователи тока, как оптические трансформаторы и ИПТ на базе катушек Роговоского.

Несколько лет назад на электроэнергетический рынок вышли новые измерительный устройства, работающие на базе эффекта Фарадея, получившие название «измерительные оптические трансформаторы». Конструктивные подобные устройств снабжены чувствительным элементом, токовой головкой, содержащей несколько витков оптоволокна, на вход которого подается сигнал от источника лазерного излучения. Проводник с измеряемым током i помещается в специальное окно головки. При воздействии на лазерный луч магнитного поля, его плоскость поляризации поворачивается на определённый угол, который оказывается пропорционален произведению напряженности, приложенного магнитного поля H, определяемого током i и длине оптического волокна, в котором движется луч. При подсоединении к оптоволокну измерительного оптоэлектронного блока появляется возможность получить пропорциональный измеряемому току I сигнал [9, 10].

Токовая головка, используемая в оптическом трансформаторе, устанавливается на кончике колонны из диэлектрического материала, который одновременно выполняет функцию опоры. Оптическое волокно проходит уже внутри данной колонны. Эксплуатационные показатели оптических трансформаторов выше, чем у их электромагнитных аналогов. Так обеспечивается класс точности не ниже 0,25 и добавляется возможность измерения первой сотни гармонических составляющих. К примеру, оптический трансформатор производства NxtPhase Corporation на номинальное напряжение 220 кВ весит на уровне 65 кг, что значительно меньше массы трансформаторов конкурирующих технологий, находящихся в пределах от 900 до 1200 кг.

Единственный недостаток оптических трансформаторов – это высокая сложность их изготовления и, как следствие, стоимость. Следует также отметить, что уже с напряжения 110 кВ организация учёта электроэнергии с применением оптических трансформаторов ниже, нежели с использованием электромагнитных, поэтому следует ждать достаточно существенный рост масштабов их применения.

В катушках Роговского используются те же самые принципы работы, что и в традиционных трансформаторах тока с металлическим сердечником. Основное отличие заключается в том, что намотка катушки Роговского осуществляется на немагнитный сердечник, результатом чего является линейность характеристики, поскольку сердечник не насыщается.

Однако в отличие от традиционных ТТ, вторичный ток которых пропорционален первичному току, выходное напряжение катушек Роговского является масштабированной производной по времени $di(t)/dt$ первичного тока. Для устройств защиты, которые используют в работе

аналоговые значения промышленной частоты, необходима дополнительная обработка входного сигнала от датчиков тока, а микропроцессорное оборудование должно иметь конструктивную возможность принимать сигналы такого типа.

Катушки Роговского можно подключить к реле защиты с помощью экранированной витой пары и соответствующих разъемов. Это обеспечивает простоту установки и предотвращает ошибки при подключении оборудования. Клеммные блоки не требуются, поскольку напряжение выходного сигнала катушки является минимальным с точки зрения безопасности, а рост напряжения при размыкании вторичной обмотки не наблюдается. Суммирующий блок обеспечивает электрическое сложение сигналов от двух секций катушки Роговского и передает этот суммарный сигнал в реле защиты. Такие датчики также можно подключать к устройствам защиты с помощью оптоволоконных кабелей.

В настоящее время идет работа над международным стандартом IEC 61869, который позволит определить стандартные требования к конструкции датчиков тока и их применению, например к классу точности и стандартам вторичных сигналов. Стандарт IEC 61869 будет способствовать лучшему пониманию технологий, оказывать поддержку и увеличивать степень доверия к эксплуатируемым устройствам. При правильном подходе к разработке стандартов нетрадиционные ТТ могут обладать характеристиками, удовлетворяющими требованиям как со стороны системы учета электроэнергии, так и со стороны комплексов РЗА. Другим направлением деятельности МЭК является разработка стандарта IEC 61869-13: независимый модуль сопряжения (Stand-Alone Merging Unit – SAMU). Этот стандарт также будет оказывать поддержку и увеличивать степень доверия к эксплуатируемым датчикам тока.

Источники

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М.: Высш. шк., 1991. 496 с.

2. Shepard D.W., Yuach D.W. An overview of current sensing technology. Grove City, Ohio: LEM Dy-nAmp Inc, 1999. 13 p.

3. Ray W.F., Hewson C.R. Practical Aspects of Current Transducer Performance. PEM paper PCIM, 2001. 6 p.

4. Калантаров Г.А., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: справочник. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 488 с.

5. Power Electronic Measurements Ltd [Электронный ресурс]. URL www.pemuk.com (дата обращения:).

6. Linear Couplers for Bus Protection / E.L. Harder [et al.] // AIEE Trans. 1942. Vol. 61, Is. 5. Pp. 241–248.

7. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1957. 344 с.

8. Измерительное устройство дифференциальной токовой защиты шин: пат. 2396661 Рос. Федерация № 2009126293/28; заявл. 08.07.09; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22.

9. Богодайко И.А., Константинов Н.С., Кувшинов Г.Е. Измерение тока гидрогенераторов Зейской ГЭС с помощью дифференцирующих измерительных преобразователей // Состояние и проблемы измерений: матер. VII Всерос. науч.-техн. конф. М., 2000. С. 124–125.

10. Кожович Л.А., Бишоп М.Т. Современная релейная защита с датчиками тока // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М., 2009. С. 39–48.

УДК 621.31

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Г.А. Шаймарданова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
guliya_1994@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук И.Ф. Галиев

Аннотация. В данной работе рассмотрена методика формирования моделей надежности без восстановления/с восстановлением отказавших элементов для схем электроснабжения крупных международных мероприятий, которые в последние годы проводятся на территории Российской Федерации довольно часто.

Ключевые слова: схема электроснабжения, модели надежности, однородная цепь Маркова, полный отказ, трансформатор, без восстановления/с восстановлением отказавших элементов, аналитическое решение.

При применении однородной цепи Маркова имеется череда ограничений, вводимых на потоки возможностей отказов и восстановлений, длительностей ремонтов и преднамеренных отключений, которые необходимо учитывать при моделировании процессов, происходящих в электроустановках.

Рассмотрим необходимую для расчета моделей надежности схем электроснабжения полную группу событий:

– состояние 0 – состояние полной исправности всех основных элементов;

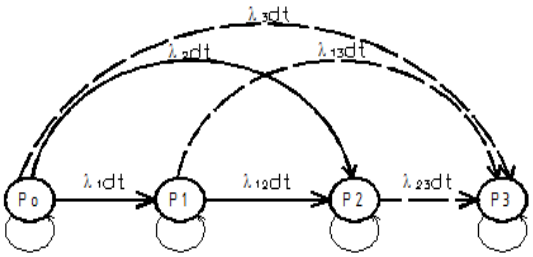
– состояние 1 – запланированный ремонт или отказ одной из цепей блока трансформаторов, при этом оставшийся в работе трансформатор должен обеспечивать нужды потребителей;

– состояние 2 – отказ одной из цепей блока резервных источников, в результате которого в работе должен остаться хотя бы один источник питания;

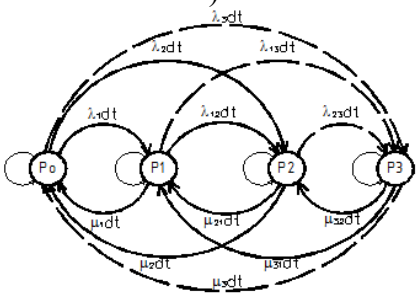
– состояние 3 – состояние полного отказа всех элементов, прекращение передачи электроэнергии при наложении отказов электрооборудования одной цепи на отказ или ремонт оборудования другой цепи блоков. В этом состоянии также есть возможность наложения на ремонт или отказ в цепях блоков трансформаторов внешних воздействий, таких как провалы напряжения и короткое замыкание.

Рассматриваемые схемы делятся на блоки по причине наложения отказа, например одного из трансформаторов на плановый ремонт другого, что принесет большой ущерб потребителю.

Ниже приведены графы переходов моделей без восстановления (а) и с восстановлением отказавших элементов (б).



а)



б)

Графы переходов моделей без восстановления отказавших элементов – модель I (*а*) и с восстановлением отказавших элементов – модель II (*б*)

Модель без восстановления отказавших элементов описывает функционирование объекта до полного отказа ($P_к(t) = 1$).

Разновидность рассматриваемой модели с учетом вероятности перехода $\lambda_3 d$, который возможен только при наличии сильных связей между центрами питания, имеет следующее аналитическое решение:

$$P_0(t) = e^{-at};$$

$$P_1(t) = -\frac{\lambda_1}{a-b}e^{-at} + \frac{\lambda_1}{a-b}e^{-bt};$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda_1\lambda_{12} - \lambda_2(a-b)}{(a-b)(a-b+c)}e^{-at} + \frac{\lambda_1\lambda_{12}}{(a-b)c}e^{-bt} + \\ + \left(\frac{\lambda_2(a-b) - \lambda_1\lambda_{12}}{(a-b+c)(a-b)} - \frac{\lambda_1\lambda_{12}}{(a-b)c}\right)e^{-\lambda_{23}t} \qquad (1)$$

$$P_3(t) = \left(\frac{\lambda_3}{a} - \frac{\lambda_1\lambda_{13}}{(a-b)a} + \frac{\lambda_{23}(\lambda_1\lambda_{12} - \lambda_2(a-b))}{(a-b)(a-b+c)a}\right)(1-e^{-at}) + (1) + \\ + \left(\frac{\lambda_1\lambda_{13}}{(a-b)b} + \frac{\lambda_1\lambda_{12}\lambda_{13}}{(a-b)bc}\right)(1-e^{-bt}) + \left(\frac{\lambda_2(a-b) - \lambda_1\lambda_{12}}{(a-b)(a-b+c)} - \frac{\lambda_1\lambda_{12}}{(a-b)c}\right)(1-e^{-\lambda_{23}t}).$$

Здесь коэффициенты: $a = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$, $b = \lambda_{12} + \lambda_{13}$, $c = \lambda_{12} + \lambda_{13} - \lambda_{23} = b - \lambda_{23}$.

В модели с восстановлением отказавшихся элементов те же состояния, что и в модели I, дополнительно связаны хордами $\mu_i dt$, $\mu_j dt$, $\mu_{ji} dt$, которые характеризуют вероятность восстановления из состояний отказов $P_i(t), i \neq 0$.

Система уравнений (1) для модели II будет иметь вид:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)P_0(t) + \mu_1 P_1(t) + \mu_2 P_2(t) + \mu_3 P_3(t);$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_1 P_0(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \mu_1)P_1(t) + \mu_{21} P_2(t) + \mu_{31} P_3(t); \qquad (2)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_2 P_0(t) + \lambda_{12} P_1(t) - (\mu_2 + \mu_{21} + \lambda_{23})P_2(t) + \mu_{32} P_3(t);$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_3 P_0(t) + \lambda_{13} P_1(t) + \lambda_{23} P_2(t) - (\mu_{31} + \mu_{32} + \mu_3)P_3(t).$$

Для расчета установившихся вероятностей P_i можно использовать результаты решения системы алгебраических уравнений (3) совместно с условием $\sum_i P_i = 1$:

$$-(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)P_0+\mu_1P_1+\mu_2P_2+\mu_3P_3=0,$$

$$\lambda_1P_0-(\lambda_{12}+\lambda_{13}+\mu_1)P_1+\mu_{21}P_2+\mu_{31}P_3=0,$$

$$\lambda_2P_0+\lambda_{12}P_1-(\mu_2+\mu_{21}+\lambda_{23})P_2+\mu_{32}P_3=0, \qquad (3)$$

$$\lambda_3P_0(t)+\lambda_{13}P_1+\lambda_{23}P_2-(\mu_{31}+\mu_{32}+\mu_3)P_3=0.$$

Полученные решения уравнений для вероятностей состояний $P_i=\text{const}$ позволяют определить установившиеся значения комплексных показателей надежности схем электроснабжения для календарного периода.

Источники

1. Васильев Ю.А. Разработка критериев эффективности и моделей надежности функционирования питающих электрических схем промышленных предприятий с учетом факторов кратковременных нарушений электроснабжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2010. 16 с.

2. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. М.: Высшая школа, 1989. 149 с.

УДК 621.31

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ФАКТОРОВ

С.М. Шишкин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
stas-cent@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Маклецов

Аннотация. В статье рассмотрена проблема снижения качества электроэнергии, возникающая при увеличении энергоемкости. Снижение качества электроэнергии может быть вызвано различными факторами, которые проявляются в определенных обстоятельствах и поэтому имеют различные решения для их устранения. Важнейшей проблемой является влияние качества электроэнергии на энергетические параметры электрооборудования в металлургии и в области механической обработки. Основным элементом подготовки специалистов в области электроэнергетики и электротехники является формирование компетенций, направленных на выявление и устранение причин снижения качества электроэнергии. Наиболее эффективно эти компетенции

могут формироваться при выполнении действий на реальном оборудовании или на физической модели.
Ключевые слова: электрооборудование, эффективность, качество электроэнергии, моделирование, электроприемник, колебания напряжения.

Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальное напряжение, частота, ток. Поэтому для его работы должно быть обеспечено требуемое качество электроэнергии. Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью ее характеристик, при которых электроприемники могут нормально выполнять заложенные в них функции. Поэтому измерения параметров сети имеют огромное значение в оценке качества электроэнергии.

Проблемами качества электроэнергии считается большое количество различных явлений. Любое из них способно при определенных обстоятельствах обладать разными решениями по их устранению, которые могут способствовать повышению качества электроэнергии, и как следствие, технических характеристик оборудования. При оценке электромагнитной обстановки и способов решения проблем, связанных непосредственно с электромагнитной совместимостью, можно воспользоваться методом виртуального моделирования, что позволяет за короткие сроки подобрать оптимальные варианты решения. Потребители электроэнергии рассчитываются и изготавливаются на длительное время работы с номинальными электрическими параметрами – частота сети, напряжение и ток, при которых они обладают наивысшими технико-экономическими показателями [1].

Качество электроэнергии непосредственно связано с экономичностью производства, поскольку отклонения показателей качества от номинальных приводят к снижению коэффициента полезного действия, коэффициента мощности, производительности, срока службы и других показателей потребителей электроэнергии. Также отражением качества электроэнергии является его влияние на предмет производства, на качество продукции. Действительно, отклонение показателей качества энергии от номинальных ведет непосредственно к нарушению технологических процессов (обработки, гальванизации, нагрева и т.п.). Качество электрической энергии связано и с некоторыми социальными проблемами. Так, например, недопустимые отклонения напряжения в осветительных сетях вызывают снижение освещенности, что сказывается на органах зрения человека [2].

Отклонения и колебания напряжения в электрических сетях, вызываемые непрерывным изменением электрических нагрузок, приводят

к изменению освещенности, повышению удельного расхода энергии, изменению технологических процессов, повышению себестоимости продукции, браку и другим негативным последствиям, снижающим хозяйственную эффективность производства. Причиной, вызывающей искажение напряжения и тока в электросети, являются нелинейные потребители, использующие токи несинусоидального типа. Среди таких источников стоит выделить электродвигатели с инверторной системой управления, комплексы плавного пуска двигателей, выпрямители управляемого и неуправляемого типа, блоки питания, электротермическое оборудование – лазеры, дуговые и индукционные печи с высокой частотой, сварочные агрегаты, микроволновые установки и т.п.

Основное внимание заслуживает группа электротермического оборудования, так как для их питания используются мощные силовые полупроводниковые элементы, печные трансформаторы. Данное оборудование создает и заметно усиливает негативные эффекты в электросети, а именно, несимметричность и несинусоидальность напряжения. Моделирование установок и электрических аппаратов с добавлением функционала, отвечающего за эффекты, вносимые в сеть и оказывающие отрицательное влияние, может на этапе проектирования дать достаточно точную оценку эффективной работы используемого электрооборудования.

Традиционные пособия моделирования в известной степени обобщают множественные разработки в области математического моделирования электромагнитных и тепловых процессов в специальных электротехнологических установках. В течение длительного времени они создавались и апробировались на действующем электрооборудовании, которое со временем исчерпывает свой ресурс. При появлении конкретных расчетных задач, реализуемых в виде графических, а также виртуальных работ, ориентированных на применение современного персонального компьютера и известных универсальных пакетов, происходит значительный рост статей, ссылающих на данные инструменты расчета с последующим сопоставлением расчетных и действующих установок. Это дало существенный толчок к появлению и использованию программ с применением обширных возможностей компьютера по быстродействию и богатым средствам визуализации результатов моделирования.

Одним из важнейших этапов для исследователя является этап изучения формуляров расчета применяемых в анализе и оценке, в частности, математических выражений (математических моделей), основных допущений и ограничений, вычислительных алгоритмов, использования встроенных в пакет функций, элементов

программирования, подготовки исходных данных для дальнейшего расчета, а также вывода полученных результатов исследования [3].

С точки зрения современных тенденций развития средств и методов компьютерного, физического моделирования среди прочих следует выделить понятные для большинства аудитории программы и способы, применяющиеся к проектируемым технологиям и технологическим установкам и производящие оценку по различным признакам воздействия и приоритетам исследования: экологические, как с позиций влияния на окружающую среду, так и по безопасности обслуживания; экономические, прежде всего с позиции ресурсоэффективности; эксплуатационные, прежде всего с позиций надежности работы и повышения производительности оборудования в технологическом процессе. Эти приоритеты исследования обусловливают постоянную актуальность разработки инструментов расчета и программ моделирования, позволяющие произвести более глубокое изучение процессов и технологий.

Исходя из собственного опыта моделирования электрических контактов, приборов измерения и других электротехнических устройств, при рассмотрении плюсов и минусов способов моделирования комплексное использование методов и инструментов в оценке качества электрической энергии и исследовании негативных явлений всего электротехнологического оборудования может помочь избавиться от погрешностей и недопущений.

Источники

1. Борисова Л.М., Гершанович Е.А. Экономика энергетики: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 208 с.

2. Чемоданов Е.В. Оценка влияния несимметрии, несинусоидальности и отклонения напряжения на работу электрооборудования предприятия агропромышленного комплекса // Вестник ЧГУ. 2012. № 3.

3. Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф., Томашевский Д.Н. Электротехнологическая виртуальная лаборатория: учеб. пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2003. 233 с.

УДК 621.31

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

С.М. Шишкин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
stas-cent@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Маклецов

Аннотация. В организации управления качеством электроэнергии должны принимать участие все основные службы субъекта электроэнергетики: системный оператор, генерирующие компании, сетевые компании, администратор торговой сети, потребители. Производственная деятельность каждого из них включает в себя маркетинг, проектирование и разработку оборудования и производственных процессов, материально- техническое снабжение, производство, передачу и распределение электроэнергии, контроль и проведение испытаний, монтаж и эксплуатацию, техническую помощь, обслуживание и ремонт. Эта деятельность, в конечном итоге, направлена на производство, передачу, распределение и потребление электроэнергии. Общей нормой для товара любого вида является его качество. Поэтому главной задачей управления качеством в электроэнергетике должно быть обеспечение качества электроэнергии. Только в этом случае можно рассчитывать на экономический эффект, который может быть получен за счет снижения потерь электроэнергии, материального ущерба, обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в системе электроснабжения.

Ключевые слова: качество электроэнергии, потребитель, мониторинг качества, электрическая сеть, электроснабжение, электроприемник.

Методики контроля и анализа обязательно предусматривают проведение измерений показателей качества электроэнергии, но при анализе необходимо измерять и ряд дополнительных параметров. Выбор пунктов, продолжительности и периодичности измерений, требования к погрешности измерений и средствам измерений, квалификации операторов и проведению измерений, обработке и оформлению результатов измерений как процедуры должны быть предусмотрены как при контроле, так и при анализе качества электроэнергии. Если методика контроля качества электроэнергии практически исчерпывается процедурами и требованиями, то методика анализа предполагает глубокое понимание технологии электроэнергетики. Действительно, анализ причин ухудшения качества электроэнергии существенно зависит от вида анализируемых показателей и связан с дополнительными расчетами режимов в схемах, параметры которых отличаются также от вида показателей. При измерениях отклонения напряжения, частоты, несинусоидальности и несимметрии напряжения можно ограничиться периодическими измерениями.

Измерения ненормируемых показателей качества электроэнергии требуют длительных, а еще лучше, постоянных измерений [1].

Предварительная оценка качества электроэнергии показывает, что, как правило, источники искажения находятся у потребителей. В связи с этим целесообразно проведение мониторинга качества электроэнергии и составление топологических карт, на которых будут определены участки сетей с показателями, не соответствующими требованиям ГОСТ 32144–2013. Следует обратить внимание на то, что мониторинг включает в себя и проведение необходимых расчетов в пределах того или иного субъекта электроэнергетики. Расчеты должны позволить определить наиболее критические точки, где необходимо установить средства измерения, число которых должно быть минимальным [2].

Чаще всего причиной, вызывающей несинусоидальность, несимметрию, колебания и отклонения напряжения, является потребитель, а точнее, тот или иной вид электроприемника. Характеристики электроприемника должны отвечать требованиям определенного технологического процесса в промышленности, на транспорте. Некоторые электроприемники вносят искажения в установившихся режимах работы, некоторые в пусковые и регулируемые режимы.

Потребитель может быть источником искажений по нескольким показателям качества электроэнергии, при этом количество и местоположение таких потребителей, как правило, известны очень приблизительно, а уровень вносимых им искажений при отсутствии системы постоянного контроля практически неизвестен. Это обстоятельство следует принять во внимание в связи с ростом электронной аппаратуры, объем которой у потребителя с каждым годом возрастает. Прогресс в этом направлении позволил поставить на повестку дня вопрос о создании активно-адаптивных сетей в больших системах и так называемых умных сетей в рамках систем электроснабжения. Такие электроприемники вносят помехи и чувствительны к ним. Особенно подвержены электромагнитному влиянию информационные каналы связи и передачи информации, без которых функционирование этих сетей становится невозможным. Здесь требуется внимание как к уровню помех, вносимых электронными устройствами, так и к условиям функционирования системы в целом. С другой стороны, система мониторинга качества электроэнергии хорошо интегрируется в уже созданные системы передачи и сбора информации.

Немаловажным фактором, влияющим на качество электроэнергии, является растекание искажающих токов по электрической сети в

зависимости от ее схемы, частотных характеристик и т. п. При этом искажающие токи суммируются в узлах сети, а искажение напряжения в центре питания определяется как результат действия нескольких «виновников» ухудшения качества электроэнергии. Сеть может быть прямым «виновником» провалов напряжения, импульсов и временных перенапряжений. Чем меньше глубина, длительность и частота провалов напряжения, тем выше уровень надежности электроснабжения [3].

В складывающихся отношениях оптового рынка электроэнергии электрическая сеть часто может выступать в роли поставщика электроэнергии. И тогда ее обязательства по регулированию напряжения определяются требованиями ПУЭ. Таким образом, функция электрической сети, выступающая в роли поставщика электроэнергии, связана с обеспечением технических и организационных мероприятий в задачах управления качеством электроэнергии.

Разделение ответственности за обеспечение показателей качества электрической энергии между поставщиком и потребителем электроэнергии должно рассматриваться в неразрывной связи с надежностью электроснабжения. Эта связь вытекает из определения электромагнитной совместимости, согласно которому электрооборудование и приборы, подключенные к сети, должны нормально функционировать, не испытывая электромагнитных помех со стороны этой сети и не внося таковых в сеть. Было бы неправильным оценивать эту связь только по количеству и длительности перерывов электроснабжения. Следует иметь в виду, что такой показатель на сегодняшний день не нормируется, тогда как его следовало бы нормировать по размерам ущерба. Ущерб может оцениваться как конкретные материальные потери потребителя (когда это возможно) или через введение штрафных санкций к тарифам на электроэнергию. Размеры штрафных санкций должны быть установлены на регулируемый период как норматив. Для этого для каждого потребителя и системы его электроснабжения необходимо установить допустимый вклад по уровню влияния на качество электроэнергии в точке передачи электроэнергии.

В России целенаправленно над решением этой проблемы мало работали, так как и интерес к качеству электроэнергии в сетях у потребителя появлялся только при появлении проблем с отказами электрооборудования и последующим значительным ущербом. В зарубежной практике работы в этом отношении ведутся по нескольким направлениям: рассматривается целесообразность введения новых показателей качества электроэнергии и надежности, а также экономических критериев решения таких задач.

Источники

1. ГОСТ 33073-2014. Электроэнергия. Электромагнитная совместимость. Контроль и мониторинг качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2015. 41 с.
2. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 347 с.
3. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2015. 51 с.

УДК 621.311

К ВОПРОСУ ОБ УМНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А.Д. Шмыков
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alekshmykov@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук К.Н. Мулюкин

Аннотация. В данной статье автором рассматривается умная сеть электроснабжения и даны определения её элементам: AMI (автоматическая измерительная инфраструктура), AFS (автоматическое переключение фидеров), FLISR (определение места повреждения, его изоляции и восстановления работы), а принцип их действия наглядно представлен в статье. Автор описывает важность бесперебойной работы системы и её готовности к чрезвычайным ситуациям. Представлены возможности, преимущества и сделаны выводы применения умной сети в сейсмически активных районах России, на железнодорожных линиях и в энергоучёте.

Ключевые слова: интеллектуальная сеть, электроснабжение, мониторинг, интеллектуальный счётчик, фидер, вакуумный реклоузер, энергоучёт.

Электроснабжение – важная часть экономики любой страны и её модернизация неизбежна. Умная сеть электроснабжения (Smart grid) – это модернизация системы электроснабжения. Она возникла в результате попыток использования электронного контроля, измерения и мониторинга, и отличается от традиционной тем, что она позволяет осуществлять двустороннюю передачу данных об электричестве, а не односторонний поток. Интеллектуальные сети позволяют собирать данные в режиме реального времени в отношении электроснабжения и спроса в процессе передачи и распределения, что делает мониторинг, производство, потребление прозрачным. Сегодня проблема нарушения электроснабжения актуальна как никогда, поскольку отключение может иметь эффект домино – ряд сбоев, которые могут повлиять на банковскую деятельность, связь,

движение и безопасность. Это особая угроза в зимнее время года, когда домовладельцев можно оставить без тепла, а сбои в работе регулирования движения могут подвергнуть жизни людей опасности. Если внедрить двухстороннюю интерактивную ёмкость, то сеть сможет автоматически перенаправлять электрическую энергию, когда оборудование выходит из строя или, происходят сбои, что добавит устойчивости к системе электроснабжения и сделает её более подготовленной к чрезвычайным ситуациям: сильные штормы, землетрясения, террористические атаки. Когда происходит перебой в электропитании, технология умной сети обнаруживает и изолирует отключения, прежде чем они станут крупномасштабными. Этому способствуют такие системы, как:

1) AMI (автоматическая измерительная инфраструктура) – система автоматической двусторонней связи между интеллектуальным счетчиком коммунальных услуг с IP-адресом и коммунальной компанией. AMI также играет важную роль в восстановлении обслуживания после сбоев [1]. Коммунальные компании подают сигнал на интеллектуальные счетчики, чтобы скоординировать отправку ремонтных бригад на места наиболее опасных отключений. Большинство интеллектуальных счётчиков подают первый сигнал при отключении питания и второй сигнал, когда питание было восстановлено;

2) AFS (автоматическое переключение фидеров). Умные переключатели работают вместе с выключателями фидера, чтобы определить место аварии в системе и отключить повреждённый участок, а затем выполнить мгновенную коммутацию [1]. При отсутствии системы AFS может произойти блокировка выключателя фидера, и тогда рабочей бригаде придётся искать повреждённый участок, переключать обесточенных потребителей, устранять аварию и восстанавливать нормальное электроснабжение пострадавших потребителей;

3) FLISR (определение места повреждения, его изоляции и восстановления работы) [1]. Работа системы определения места повреждения, его изоляции и восстановления работы происходит в четыре этапа, каждый из которых можно рассмотреть на рис. 1–3.

Система FLISR обнаруживает неисправность, обычно используя линейные датчики, которые контролируют поток электричества, измеряет величины токов повреждения и сообщает о состоянии другим устройствам умной сети и сетевым компаниям.

Как только было обнаружено место аварии, FLISR открывает переключатели: один из которых находится ближе всего к источнику питания (АПВ подстанции), а другой находится ближе всего к месту аварии с другой стороны линии. Теперь неисправность успешно изолирована от остальной части фидера.

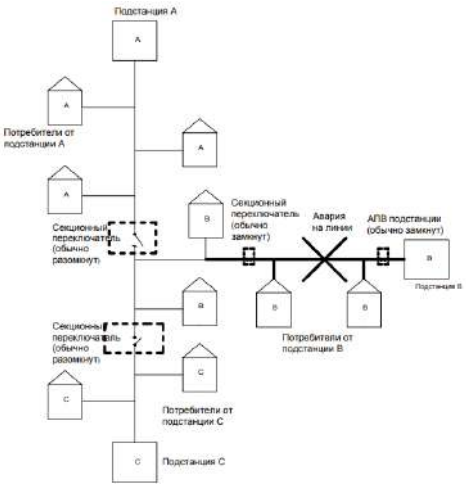


Рис. 1. Авария на линии

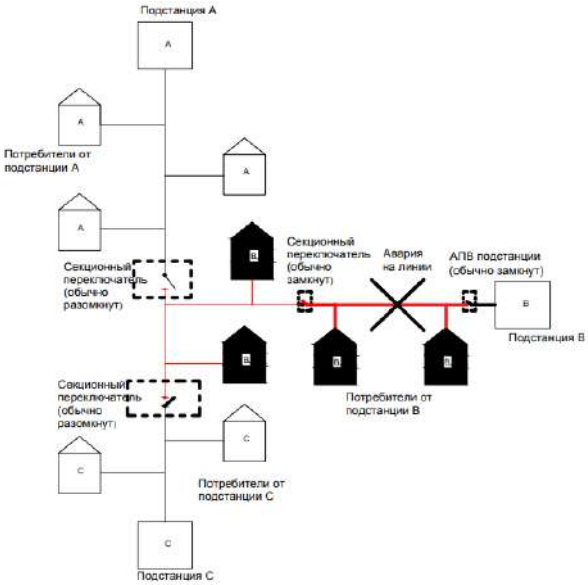


Рис. 2. Обнаружение места аварии и его изоляция

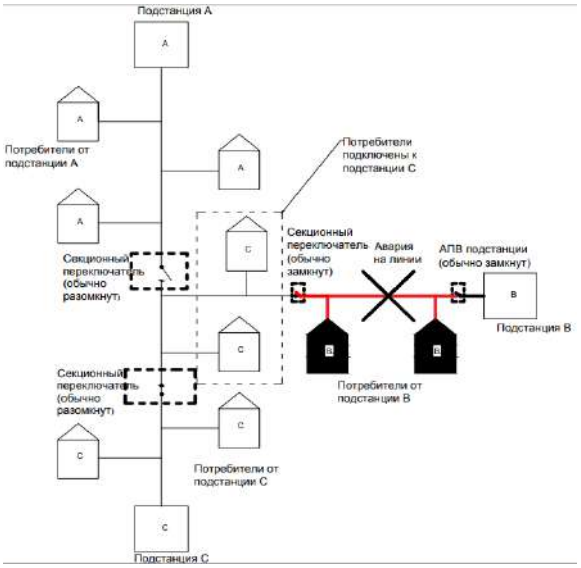


Рис. 3. Восстановление питания

Как только аварийный участок полностью изолирован, FLISR замыкает секционные переключатели соседних источников питания. Это повторно активирует неповреждённую часть фидера и восстанавливает электроснабжение потребителей, обслуживаемых этим фидерными линиями с другой подстанции.

Применение интеллектуальной сети может найти себя:

1) в районах Северного Кавказа и Камчатки, где возможны землятрясения 7 баллов и более, которые могут повредить систему электроснабжения таких крупных городов, как Владикавказ, Иркутск, Улан-Удэ, Петропавловск-Камчатский. Практически 80 % всех распределительных сетей в России построено по радиальному принципу. При возникновении повреждения на любом участке линии происходит включение защитного аппарата (выключателя фидера), и все потребители примерно на 6 часов теряют питание. С установкой вакуумных реклоузеров и смарт-ретрофитов (элементы системы AFS и FLISR) и заменой старых диспетчерских на электронные повысится устойчивость системы энергоснабжения в целом, так как AFS будет подключать обесточенные объекты к другим источникам, а электронные диспетчерские позволят в разы сократить время устранения аварии, так как бригада будет знать точное её место. В качестве успешного внедрения интеллектуальной сети можно рассмотреть Калининградскую область. АО «ЯнтарьЭнерго» внедрили систему Smart Grid в Мамоновском и Багратионовском районах, где находятся более 50 тыс. потребителей. Данные районы находятся в прибрежных зонах, и из-за ураганов, которые возникают из-за западных ветров, страдают потребители. В рамках данного проекта установили вакуумные реклоузеры PBA/TEL, и время на восстановление питания в сетях 6–15 кВ сократилось более чем в 5 раз [2];

2) на железнодорожных линиях переменного тока, где на протяжении нескольких лет система тягового электроснабжения ограничивает пропускную способность железнодорожного направления, и, как следствие, происходит падение мощности электровозов из-за низкого значения cosφ, что приводит к загрузке линии реактивной мощности.

$$\Delta P = \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} R$$

Из формулы следует, что при уменьшении cosφ увеличиваются потери активной мощности. Увеличить cosφ можно с применением статического генератора реактивной мощности RU-DRIVE SVG.

Быстродействующая система интеллектуального управления в режиме реального времени анализирует значение напряжения на шине после секционирования и, корректируя рабочие параметры устройства, осуществляет плавное регулирование напряжения и генерируемой реактивной мощности в тяговой сети. Кроме того, статический генератор реактивной мощности способствует фильтрации гармонических составляющих тягового тока, улучшая показатели электромагнитной совместимости и качества электрической энергии. В результате источник реактивной мощности приближается к потребителю, и увеличивается напряжение на токоприёмниках, а, следовательно, снижаются потери электрической энергии. Контроллер системы автоматического управления интегрирован в систему, а информация о состоянии и режиме работы устройства отображается на автоматизированном рабочем месте диспетчера. В 2016 году на посту секционирования железнодорожной станции Заринская в Алтайском крае было введено такое устройство (RU-DRIVE SVG), что привело к увеличению пропускной способности железнодорожной станции [3];

3) в энергоучете. Для внедрения умных счётчиков был принят Федеральный закон [4], призванный наладить достоверный учёт потребляемых энергоресурсов, сделать систему начисления платежей прозрачной, свести к минимуму риск безучётного потребления. Александр Сидякин, первый зампред комитета Госдумы по жилищной политике и ЖКХ высказался: «Многие жильцы подкручивают счетчики, заставляя платить других жителей дома за себя. С «умными» приборами своровать невозможно. Любое вмешательство будет зафиксировано» [5]. Использование интеллектуальных приборов учёта позволяет повысить платёжную дисциплину, а именно, отключение от электроснабжения недобросовестных потребителей, передавать ему информацию о тарифах и стоимости потребления. Счётчики имеют защиту от хищения электроэнергии, а вскрытие кожуха или воздействие электромагнитных полей фиксируется в журнале автоматически.

Источники

1. Инвестиции в Умную сеть, улучшение надёжности сети, упругость и реакции на чрезвычайные ситуации [Электронный ресурс]. URL: https://www.energy.gov (дата обращения: 20.11.2018).

2. Пилотный проект smart grid АО «ЯНТАРЬЭНЕРГО» на ПМЭФ-2016 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tavrida.com (Дата обращения 25.11.2018).

3. Устройство поперечной компенсации реактивной мощности на посту секционирования станции Заринская [Электронный ресурс]. URL: http://www.rzd-expo.ru (дата обращения: 29.11.2018).

4. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 27 декабря 2018 г. № 522-ФЗ. URL: http://pravo.gov.ru (дата обращения: 30.12.2018).

5. Обязательная установка «умных» счетчиков с 2019 года: последние новости [Электронный ресурс]. – URL: https://uchet-jkh.ru (дата обращения: 02.12.2018).

УДК 621.311.1

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 220 кВ И ВЫШЕ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫДАЧУ МОЩНОСТИ БАЛАКОВО-САРАТОВСКОГО ЭНЕРГОУЗЛА

А.А. Юдина
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
n.astysha@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Д.Н. Дадонов

Аннотация. На территории Балаково-Саратовского энергоузла расположены две купные электростанции: Балаковская АЭС и Саратовская ГЭС. В работе описывается проблема Балаково-Саратовского энергоузла, приведен обзор противоаварийной автоматики Балаковской АЭС (установленная мощность 4000 МВт) и Саратовской ГЭС (установленная мощность 1415 МВт). Исходя из результатов проведенных расчетов установивших режимов в ПК «RastrWin3», предложено несколько вариантов по развитию и модернизации электрических сетей 220 кВ и выше Объединённой энергетической системы Средней Волги, для которых выполнены расчеты электроэнергетических режимов и статической устойчивости с учётом нормативных возмущений и последующим технико-экономическим сравнением.

Ключевые слова: установившиеся электроэнергетические режимы, схемы выдачи мощности, статическая устойчивость, нормативные возмущения.

Балаково-Саратовский энергогузел Саратовской энергосистемы характеризуется существенным избытком электрической мощности по причине расположения на его территории двух крупных электростанций: Балаковской АЭС, установленная мощность которой составляет 4000 МВт (4 энергоблока по 1000 МВт), и Саратовской ГЭС, установленная мощность которой составляет 1415 МВт (24 гидроагрегата) по состоянию на 01.01.2019 [1]. При этом имеются планы по модернизации энергоблоков

Балаковской АЭС и гидроагрегатов Саратовской ГЭС, а также по строительству возобновляемых источников электроэнергии: солнечных и ветровых электростанций в данном энергоузле [2].

По результатам проведенных расчетов установившихся электроэнергетических режимов, которые были выполнены в программном комплексе «RastrWin3», установлено, что в настоящее время схемы выдачи мощности Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС не удовлетворяют требованиям п.188 Правил технологического функционирования электроэнергетических систем [3], так как в нормальной схеме при возникновении одного нормативного возмущения, в соответствии с требованиями Методических указаний по устойчивости энергосистем [4], требуется применение противоаварийной автоматики с действием на разгрузку Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС.

На данный момент нормативные возмущения приводят к работе противоаварийной автоматики на Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС с действием на:

– длительную разгрузку турбины;

– отключение генерации.

Длительная разгрузка турбины Блока-1 Балаковской АЭС используется для предотвращения нарушения статической устойчивости и предотвращения недопустимой по величине и длительности токовой нагрузки оборудования путем разгрузки блока. Обеспечивается путем разгрузки реактора АЭС через систему автоматического управления мощности энергоблока.

Отключение генерации Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС применяется для предотвращения нарушения статической устойчивости генерирующего оборудования и предотвращения недопустимой по величине и длительности токовой нагрузки ЛЭП 220 кВ.

Управляющие воздействия реализуются через устройства выбора направления и автоматически распределяются между Саратовской ГЭС и Балаковской АЭС с приоритетом действия на отключение генерации на Саратовской ГЭС.

На Балаковской АЭС установлена следующая автоматика, которая работает на длительную разгрузку турбины и отключение генерации Балаковской АЭС и отключение генерации Саратовской ГЭС:

1. Автоматика разгрузки при отключении линии (двух линий) (АРОЛ и АРОДЛ).

2. Автоматика разгрузки при отключении (авто)трансформатора и линии (АРОТиВЛ).

3. Автоматика разгрузки при отключении трансформатора (АРОТ).

4. Автоматика разгрузки при затяжных коротких замыканиях (АРЗКЗ).

Данная автоматика входит в автоматику предотвращения нарушения устойчивости.

АРОЛ и АРОДЛ применены для предотвращения нарушения статической устойчивости контролируемых сечений и предотвращения перегрузки сети. АРОТ применяется для предотвращения перегрузки сети 220 кВ. АРОТиВЛ применяется для предотвращения нарушения статической устойчивости в сети 110–220 кВ.

АРЗКЗ предназначена для предотвращения нарушения динамической устойчивости.

Для корректной работы автоматики и правильного выбора управляющих воздействий реализуется следующий алгоритм [5]:

1. Фиксируется отключение оборудования.

2. Фиксируется эксплуатационное состояние оборудования.

3. Контролируется предшествующий режим.

4. Выбирается вид, объем и место реализации управляющих воздействий.

5. Выдаются управляющие воздействия.

С учетом этого в работе предложено несколько вариантов по развитию и модернизации электрических сетей 220 кВ и выше Объединённой энергетической системы Средней Волги.

Рассмотренные варианты предусматривают развитие сети путем:

– строительства новых ЛЭП;

– увеличения пропускной способности путем реконструкции существующих ЛЭП;

– применения комплексов противоаварийной автоматики в сети 220 кВ, исключающих действие противоаварийной автоматики на разгрузку генерирующего оборудования.

Для данных вариантов по развитию и модернизации электрических сетей 220 кВ и выше Объединенной энергетической системы Средней Волги выполнены расчеты электроэнергетических режимов и статической устойчивости для нормальной и основных ремонтных схем, с учётом наиболее тяжелых возмущений-нормативных возмущений в указанных схемах в соответствии с требованиями Методических указаний по устойчивости энергосистем [4], с последующим проведением технико-экономического сравнения.

В результате чего в работе был выбран оптимальный вариант развития и модернизации электрических сетей 220 кВ и выше

Объединённой энергетической системы Средней Волги, включающий в себя совокупность вариантов развития сети и противоаварийной автоматики.

Источники

1. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Саратовской области на 2019–2023 гг. [Электронный ресурс]: утв. постановлением губернатора Саратовской области от 25 апреля 2018 г. № 200 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/6400201804280015 (дата обращения: 07.09.2018).
2. Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2018–2024 гг. [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства энергетики РФ от 28 февраля 2018 г. № 121 // Министерство энергетики РФ: офиц. сайт. https://minenergo.gov.ru/node/11323 (дата обращения: 07.09.2018).
3. Правила технологического функционирования электроэнергетических систем [Электронные ресурсы]: утв. постановлением Правительства РФ от 13 августа 2018 г. № 937. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 07.09.2018).
4. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем» [Электронный ресурс]: приказом Министерства энергетики РФ от 3 августа 2018 г. № 630. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 07.09.2018).
5. СТО 59012820.29.020.004-2018. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика. Нормы и требования [Электронный ресурс]. М., 2018. 31 с. URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/st_pa_300318_1.pdf (дата обращения: 07.09.2018).

УДК 621.316.722.076.12

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МЕЖДУ SVC И СТАТКОМ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИТИЙ

И.О. Айметов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
aimetov2010@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Г. Логачева

Аннотация. Статья посвящена комплексному исследованию решения проблемы снижения потерь электроэнергии и повышения надежности на промышленных предприятиях, а также поддержанию высокого коэффициента мощности электроустановок. Чтобы повысить коэффициент мощности, можно применять такие технологии, как SVC и СТАТКОМ.

Ключевые слова: электроснабжение, реактивная мощность, компенсация, потери, коэффициент мощности, надежность.

Какую проблему решают применение регулируемого статического компенсатора реактивной мощности (SVC) и статистического синхронного компенсатора (СТАТКОМа)?

Во-первых, это компенсация реактивной мощности. Реактивная нагрузка снижает показатели надежности энергосистемы. Реактивные токи влияют на генераторы, в частности увеличивается расход топлива, потери в сети и, соответственно, растет падение напряжения.

К тому же реактивная нагрузка влияет и на линии электропередач, реактивная нагрузка равна дополнительной нагрузке, то есть надо увеличивать сечение проводов, и тем самым увеличиваются затраты на прокладку сетей.

Компенсация реактивной мощности – одна из мер по энергосбережению для промышленных предприятий, что довольно актуально, так как одним из важных направлений развития энергетики РФ выделяется энергосбережение.

Основные потребители реактивной мощности – асинхронные электродвигатели, которые потребляют 40 % всей мощности совместно с бытовыми и собственными нуждами; электрические печи 8 %; преобразователи – 10 %; трансформаторы всех ступеней трансформации – 35 %; линии электропередач – 7 %.

Также применение SVC и СТАТКОМа решает проблему поддержания коэффициента мощности на промышленных предприятиях,

что позволяет снизить потери, повысить пропускную способность сетей и в целом повысить надежность.

Большинство предприятий имеет низкий коэффициент мощности своих электроустановок, и это связано с тем, что большинство двигателей работают с нагрузкой ниже номинальной. Такое часто происходит в циклических технологических процессах, например: при использовании циркулярных пил, шаровых мельниц, конвейеров, компрессоров, шлифовальных станков, прессов и т.п. Для подобных механизмов двигатели обычно выбираются, исходя из максимально возможной нагрузки. Низкий коэффициент мощности ведет к тому, что предприятие переплачивает за электричество, так как реактивная нагрузка – «дополнительная» нагрузка, и за нее надо «платить».

Коэффициент можно повысить применением таких технологий, как SVC и СТАТКОМ, то есть применением компенсирующих устройств.

Наиболее выгодным является коэффициент мощности 95 %. Примерами механизмов, работающих с низким коэффициентом мощности (от 30 до 50 %), можно считать токарный станок, работающий в режиме неглубокого реза, ненагруженный компрессор, циркулярную пилу в отсутствии заготовки.

С низким коэффициентом мощности обычно работают предприятия в следующих отраслях (табл. 1).

Таблица 1

Отрасли с низким коэффициентом мощности

Отрасль	Нескомпенсированный коэффициент мощности, %
Лесопильни	45–65
Производство пластмасс (особенно экструдеры)	55–70
Металлообрабатывающие станки, прессы	60–70
Гальванопокрытия, текстиль, химическая промышленность, пивоварни	65–75
Больницы, склады, литейное производство	70–80

SVC – усовершенствованная батарея конденсаторов на основе тиристоров, обеспечивающая скоростную компенсацию реактивной мощности в высоковольтных сетях передачи электроэнергии.

SVC – автоматическое устройство для согласования полных сопротивлений, предназначенное для приведения системы к единому коэффициенту мощности.

Достоинствами SVC являются:

– почти мгновенная реакция на изменения сетевого напряжения;

– максимальная компенсация мощности;

– удаление гармоник и уменьшение искажений напряжения с помощью параллельно подключенных конденсаторов с фильтрами;

– сохранение баланса трехфазной нагрузки;

– сглаживание колебаний напряжения;

– максимальная экономическая эффективность.

Также одним из решений проблемы влияния реактивной мощности является применение устройств компенсации реактивной мощности типа СТАТКОМ, что позволяет поддерживать требуемый уровень и качество напряжения, повысить пропускную способность линий электропередачи. СТАТКОМ компактный и мобильный, обладает более высокой скоростью управления, в отличие от часто применяемых статических тиристорных компенсаторов. СТАТКОМ также применяется в многофункциональных статических устройствах FACTS. Главная функция – контроль напряжения сети генерацией РМ в точке подключения.

СТАТКОМ – источник напряжения, который имеет внутреннее сопротивление, равное нулю. Основное оборудование: трехфазный инвертор, реактор, фильтр, разъединитель, силовой трансформатор; система управления и защиты; шкафы. Схема управления СТАТКОМа состоит из управляемых полупроводниковых приборов. Она осуществляет контроль напряжения сети тока нагрузки, компенсирует реактивную мощность нагрузки, а также следит за оборудованием, осуществляя защиту в аварийных ситуациях. Данный метод компенсации РМ позволяет снизить величину напряжения в линиях электропередач. Благодаря этому уменьшаются потери ЭЭ, увеличивается пропускная способность линий. Отсюда можно сделать вывод, что данный метод компенсации РМ позволяет добиться ощутимой выгоды и увеличить срок эксплуатации электроустановок.

Чтобы правильно выбрать метод компенсации надо оценить такие факторы, как:

– влияние асинхронных двигателей на коэффициент мощности (холостой ход, перегрузка и недогрузка);

– влияние трансформаторов;

– влияние напряжения и частоты;

– техническое состояние электродвигателей (воздушный зазор);

– конструктивные данные.

В табл. 2 приведены сведения об уровне готовности технологий.

Таблица 2

Класс напряжений SVC и СТАКОМ по уровням готовности

Класс напряжения	Уровень готовности	
	SVC	СТАТКОМ
500 кВ	TRL 9	TRL 9
220 кВ	TRL 9	TRL 9
110 кВ	TRL 9	TRL 9
10 кВ	TRL 9	TRL 9

TRL 9 – демонстрация технологии в окончательном виде при летных испытаниях образца.

Источники

1. Устройства и технологии управления линиями переменного тока (FACTS) [Электронный ресурс] // Сайт АО «НТЦ ФСК ЕЭС». URL: http://www.ntcpower.ru/innovative_projects/devices_and_technology_management_lines_of_alternating_current_facts (дата обращения: 22.05.2018).

2. СТАТКОМ [Электронный ресурс] // Сайт ПАО «ФСК ЕЭС». URL: http://www.fskees.ru/innovation/intelligent_network/new_types_of_power_equipment_of_substations_and_overhead_power_lines/static_compensator_statcom (дата обращения: 22.05.2018).

3. СТАТКОМ [Электронный ресурс] // Сайт АО «Нидек АСИ ВЭИ». URL: http://nidec-asi-vei.ru/produktsiya/statkomi-dlya-nuzhd-promishlennosti-i-energetiki (дата обращения: 22.05.2018).

УДК 621.311

PROPERTIES OF LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR INTRASHOP POWER SUPPLY

A.N. Alimova
KSPEU, Kazan
aan-678@rambler.ru
Scientific adviser Doctor of technical science, a professor Y.I. Gracheva

Annotation. The analysis of methods for determining the reliability of the parameters of the equipment of power supply systems of industrial enterprises. In a market economy, the financial aspects of an adequate supply of electricity to consumers, the need to fulfill the importance of the conditions of contractual obligations for electricity supply are important. The reliability of the operation of the equipment of workshop networks with respect to connections of consumers of low-voltage switch-gear – distribution cabinets and distribution points using electrical data and using an analytical method of calculation is investigated. The limits of the probability parameters of the trouble-free operation of the circuits depending on the service life and the applied low-voltage switching devices on the outgoing lines from sections of switch-gear bus-bars are established.

Keywords: power transformer, efficiency, power supply system, load factor, efficiency, reduced costs, switching devices.

Efficiency of the functions of power supply systems (PSS) depends on each individual element in its composition [1]. In order to improve the reliability and quality of PSS work, new solutions are needed: implementation of an information system on equipment parameters and a current resource with a forecast of possible values of its marginal estimates, development of layout diagrams for installing electrical and process equipment. Regular monitoring and evaluation of the reliability data of the equipment of workshop networks for real operational conditions is required [2–4].

For PSS high demands for efficiency. In PSS, the average duration of stopping power is 3–4 hours per year, which determines the availability factor K_a = 0,99971 [5–7].

The decrease in the reliability parameters of the PSS operation is determined by the change in operation, which is determined by the increase in the actual power consumption, or by the untimely commissioning of electrical equipment [8]. The impact of conditions that reduce the reliability of equipment can be reduced by improving the operating parameters, choosing the optimal scheme, ensuring a rational reserve [9–11].

Investigate the parameters of the reliability of the system on the example of the site shop network. For the first and second busbar section (I BS and II DS) of the scheme (fig. 1), we determine the failure rate and the average probability of failure.

Table 1

Initial data for the settlement scheme (fig. 1)

Accession number	Cable line type	Cable line length, m	Engine power, kW
1	PVC Insulated Aluminum Cable (3×8 + 1×4)	15	19
2	PVC Insulated Aluminum Cable (3×8 + 1×4)	13	19
3	PVC Insulated Aluminum Cable (3×6 + 1×4)	16	16
4	PVC Insulated Aluminum Cable (3×6 + 1×4)	26	12
5	PVC Insulated Aluminum Cable (3×4 + 1×2,5)	26	12
6	PVC Insulated Aluminum Cable (3×4 + 1×2,5)	22	12
7	PVC Insulated Aluminum Cable (3×8 + 1×4)	17	19
8	PVC Insulated Aluminum Cable (3×10 + 1×6)	13	23
9	PVC Insulated Aluminum Cable (3×6 + 1×4)	17	16
10	PVC Insulated Aluminum Cable (3×4 + 1×2,5)	15	12
11	PVC Insulated Aluminum Cable (3×4 + 1×2,5)	22	12
12	PVC Insulated Aluminum Cable (3×70 + 1×35)	52	– – –
13	PVC Insulated Aluminum Cable (3×70 + 1×35)	52	– – –

The logic scheme of reliability for distribution cabinet (DC) (fig. 2) corresponds to the fact that the emergency shutdown of one of the DC connections leads to the disconnection of the cabinet for the duration of the repair. Define the parameters of the logic circuit. The values of the source data of the equipment are given in tables 1 and 2.

Table 2

Values of intensity of cable lines refunctions

№	Cable line length, m	Failure rate, 1 / year	№	Cable line length, m	Failure rate, 1 / year
1	15	0,004	8	13	0,003
2	13	0,003	9	17	0,004
3	16	0,007	10	15	0,004
4	26	0,006	11	22	0,005
5	26	0,006	12	52	0,013
6	22	0,005	13	52	0,013

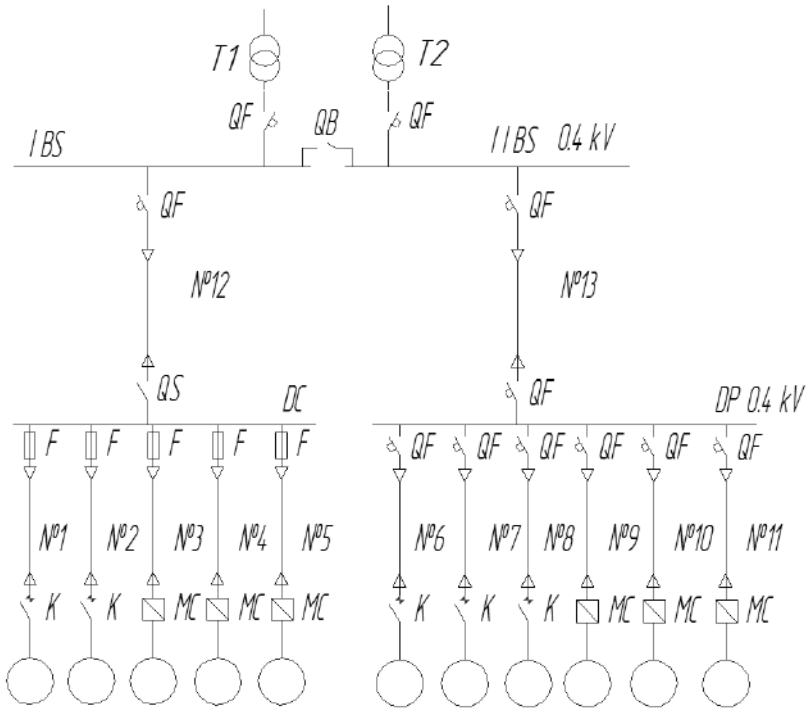


Fig. 1. Scheme of the low-voltage shop network

The failure rate of a circuit with series-connected elements (fig. 2) is equal to the sum of the failure rates of individual elements.

$$\lambda_{SHR} = 2\lambda_{QF} + \lambda_{QS} + 5\lambda_F + 3\lambda_{MC} + 2\lambda_K + \lambda_{CL12} + \\ +\lambda_{CL1} + \lambda_{KL2} + \lambda_{CL3} + \lambda_{CL4} + \lambda_{CL5},$$

where λ_{SHR} is the failure rate of the circuit (Fig. 2); λ_{QF} – failure rate of the circuit breaker; $\lambda_{CL} = \lambda_{CLi}$ – failure rate of the i-th cable line; λ_{QS} – failure rate of the knife switch; λ_F – fuse failure rate; λ_{MC} – magnetic controller failure rate; λ_K – contactor failure rate.

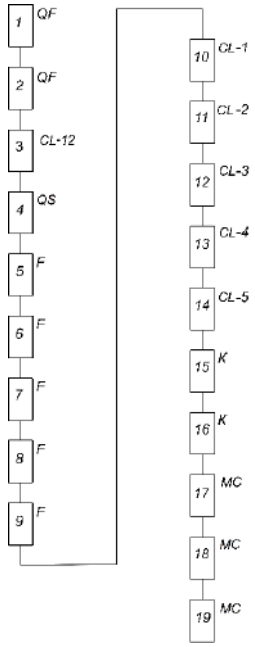


Fig. 2. Logic of reliability relative to DC

Values of probabilistic characteristics of equipment reliability are obtained as a result of processing statistical information on failures at industrial enterprises in Kazan.

$$\lambda_{SHR} = 2 \cdot 0,059 + 0,004 + 0,003 + 0,004 + 0,006 +$$
$$+0,013 + 0,038 + 5 \cdot 0,042 + 3 \cdot 0,095 + 2 \cdot 0,098 = 0,7951 / \text{ year.}$$

Calculate the average probability of system failure:

$$q_{SHR} = q_{QF} + q_{QF} + q_{CL} + q_{QS} + q_F + q_F + q_F + q_F + q_F + q_{MC} +$$
$$+q_{CL12} + +q_{CL1} + q_{QL2} + q_{CL3} + q_{CL4} + q_{CL5} + q_{MC} + q_{MC} + q_K + q_K,$$

where q_{QF} is the probability of failure of the circuit breaker; q_{CL} is the probability of cable line failure; q_{QS} – probability of failure of the switch; q_F is the probability of a fuse failure; q_{MC} is the probability of magnetic controller failure; q_K – the probability of failure of the contactor.

The numerical values of the reliability parameters relative to the DC is calculated in the same way: λ_C = 0,472 1/year, q_C = 2,45·10^{-4}.

We will conduct a comparative analysis of the reliability parameters relative to the low voltage switchgear of the circuit under consideration (fig. 1), using statistical data on electrical equipment failures. For the DC scheme 2 probability of uptime in one year is determined.

Similarly, we define the probability for t = 2 ... 7 years of operation.

P_C (t = 1 year) = 0,957; P_C (t = 2 year) = 0,913; P_C (t = 3 year) = 0,798;

P_C (t = 4 year) = 0,586; P_C (t = 5 year) = 0,411; P_C (t = 6 year) = 0,250;
P_C (t = 7 year) = 0,110.

A graph of dependences of the probability of time of failure-free operation of connections of the DC and DP circuit (fig. 3) is constructed, based on statistical data of electrical equipment failures (curves 1 and 2) and the results of reliability parameters calculations by an analytical method (curves 1 ’and 2’).

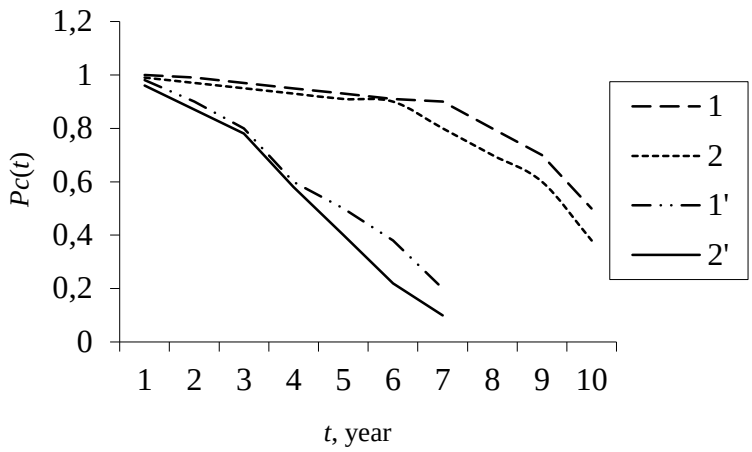


Fig. 3. Lines 1 and 2: connections of the distribution cabinet during 7 years of operation. Lines 1 ’and 2’: change of connections at the distribution point during 10 years of operation

The probability of the time of failure-free operation of the scheme with respect to the DP will be determined:

$$P_c = P_{QF} \cdot P_{QS} \cdot P_F^5 \cdot P_{MC}^3 \cdot P_K^2 \cdot P_{CL}^6 = 0{,}957;$$

P_C (t = 1 year) = 0,995; P_C (t = 2 year) = 0,991;

P_C (t = 3 year) = 0,987; P_C (t = 4 year) = 0,969;

$$P_C\ (t = 5\ \text{year}) = 0{,}948;\ P_C\ (t = 6\ \text{year}) = 0{,}938;$$

$$P_C\ (t = 7\ \text{year}) = 0{,}909;\ P_C\ (t = 8\ \text{year}) = 0{,}825;$$

$$P_C\ (t = 9\ \text{year}) = 0{,}700;\ P_C\ (t = 10\ \text{year}) = 0{,}435.$$

According to the results of the study, it turns out that the smallest discrepancy of parameters (up to 10 %) for circuits with automatic switches for each connection (in the first 7 years), and the greatest discrepancy, starting from the 5th year of operation (20 %) for circuits with installed fuses.

Studies have shown that it is necessary to periodically check the operational reliability of the shop power supply systems. To do this, the data characteristics of the reliability of the equipment need to be updated. This information is required for the effective functioning of shop systems and improving the quality of power supply to consumers.

References

1. Gracheva E.I., Naumov O.V., Sadykov R.R. The use of an analytical method for calculating the reliability of elements of power supply systems based on probabilistic models // Reliability and Safety of Energy. 2017. Vol. 1, № 1. Pp. 48–52.

2. Gracheva E.I., Naumov O.V., Sadykov R.R. Accounting for no-load losses of transformers in the period of operation when calculating the losses of electricity in distribution networks // News of universities. Energy problems. 2016. № 1–2. Pp. 53–63.

3. Gracheva E.I., Sadykov R.R. Formation of models for assessing the operational reliability of the systems of internal power supply // News of the higher educational institutions of the Black Earth Region. 2017. № 1 (47). Pp. 27–38.

4. Gimadeeva L.I., Kalimullina R.M. Determining the reliability of shop floor equipment // Innovation Science. 2016. № 1–2 (13). Pp. 49–51.

5. Dynkin B.E. The use of the overload capacity of transformers under conditions of sharply variable load // Transport: science, education, production. Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don, 2017. Pp. 97–101.

6. Korotkov A.V., Frolov V.Y. The results of measurements of power loss of idling transformer with a different service life // Electrics. 2011. № 8. Pp. 8–11.

7. Saetgaraeva S.A. Prediction and evaluation of the quality of the functioning of low-voltage switching devices used in the shop networks // Modern problems of education and science Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. 2017. Pp. 177–179.

8. Esmaeilian H.R., Fadaeinedjad R. Energy Loss Minimization in Distribution Systems Utilizing an Enhanced Reconfiguration Method Integrating Distributed Generation // IEEE Systems journal. 2014. Pp. 1–10.

9. Guo Xian, Guo He, Cheng Haozhong, et al. Optimal Architecture Planning of Microgrid Considering User Outage Costs // Transaction of China Electrotechnical Society. 2014. № 29 (8). Pp. 301–306.

10. Mohamed Imran A., Kowsalya M., Kothari D. P. A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution network // Electric Power Energy System. 2014. № 63. Pp. 461–472.

11. Wang Feng, Qi Yanpeng, Fu Zhengcai, et al. Reliability Evaluation of Distribution System Based on Modified Failure Mode and Effect Analysis Method // Low Voltage Apparatus. 2013. № 1. Pp. 37–42.

УДК 621.311

ВЗАИМОСВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ИХ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ

А.Н. Алимова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
aan-678@rambler.ru
Науч. рук. д-р техн. наук Е.И. Грачева

Аннотация. В предложенной статье рассчитаны режимы работы силовых трансформаторов для определения величины оптимальной загрузки, при которой коэффициент полезного действия силового трансформатора достигает своего максимального значения, изложены несколько вариантов повышения эффективности эксплуатации силовых трансформаторов промышленных предприятий. Рассмотрен вариант использования метода приведенных затрат для определения оценки эффективности эксплуатации систем электроснабжения. Произведен разбор на примере изменения коэффициента загрузки трансформатора, проанализировано его влияние на коэффициент полезного действия. Взаимосвязь данных факторов отображена в графическом виде. Показана зависимость оптимального коэффициента загрузки от номинальной мощности.

Ключевые слова: силовой трансформатор, эффективность, система электроснабжения, коэффициент загрузки, коэффициент полезного действия, приведенные затраты.

Результаты энергетического и финансового упадка вынуждают задуматься над проблемами оценки уровней потерь мощности и

электроэнергии (ЭЭ) и способности их снижения при передаче ЭЭ. Потери ЭЭ в силовых трансформаторах увеличиваются по мере их старения по сравнению с исходными паспортными данными. Разработчики трансформаторов заявляют, что потери ЭЭ в ходе эксплуатации в исправно работающих трансформаторах, но не больше, чем на 5 % за весь период эксплуатации трансформатора [1].

Исследования выявили, что старение трансформатора приводит к росту потерь ЭЭ в зависимости от условий работы [2].

Как известно, установленная мощность трансформаторов в цепи «электрическая станция – потребитель электрической энергии» на порядок больше генераторных мощностей электрической станции. При этом неоднократная трансформация электрической энергии связана с её потерями, и, при прочих равных условиях, чем больше ступеней трансформации, тем выше потери.

Общепринятой оценкой эффективности эксплуатации систем электроснабжения является метод приведённых затрат.

При постановлении отдельных более узких проблем имеют все шансы восприниматься прочие аспекты с целью установления эффективности работы электрооборудования [3].

Минимум потерь мощности (ЭЭ) как критерий для выбора номинальной установленной мощности трансформатора или степени его загрузки может быть применен для вариантов схем электроснабжения с неизменными сечениями и марками кабелей, их длиной, схемами и оборудованием, установленным на подстанциях и т.д.

В отдельных случаях есть возможность использовать в качестве критерия оптимальной загрузки трансформатора его загрузку, соответствующую максимуму коэффициента полезного действия [4].

Практически этим критерием воспользоваться трудно, так как максимум КПД трансформаторов в широком диапазоне изменения вторичной нагрузки (k_3 = 0,4 – 0,15) выражен слабо. Разберем это на примере.

Коэффициент полезного действия трансформатора, как известно, это отношение отдаваемый мощности P_2 к мощности P_1 поступающей в первичную обмотку.

По уравнению баланса мощности в цепи трансформатора имеем [5]:

$$P_1 = P_2 + \Delta P = P_2 + \Delta P_{\text{СТ}} + \Delta P_{\text{М}}$$

где $\Delta P_{\text{СТ}}$ – потери мощности в стали; $\Delta P_{\text{М}}$ – потери мощности в меди; ΔP – суммарные потери мощности; $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi$ – активная мощность потребителей; U_2 – напряжение вторичной обмотки

трансформатора; I_2 – ток вторичной обмотки трансформатора; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности трансформатора.

Потери мощности в стали магнитопровода $\Delta P_{\text{СТ}}$ из-за гистерезиса и вихревых токов зависят от амплитуды магнитного потока, поскольку магнитный поток – величина постоянная, то потери мощности в стали не изменяются, не зависят от нагрузки при постоянном значении напряжения питания. Эти потери составляют 1–2 % от номинальной мощности трансформатора [6].

Потери мощности в проводах обмоток зависят от нагрузки, так как

$$\Delta P_{\text{М}} = R_k \cdot I_1^2,$$

где R_k – сопротивление обмоток трансформатора; I_1 – ток первичной обмотки трансформатора.

Коэффициент полезного действия трансформатора можно рассчитать по выражению [7]

$\eta = \frac{P}{} R_k$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{CT} + \Delta P_M} = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi}{U_2 I_2 \cos\varphi + \Delta P_{CT} + \Delta P_M}$$

Из опытов холостого хода и короткого замыкания получаем $\Delta P_{CT} = \Delta P_{XX}$, $\Delta P_M = R_k \cdot I_1^2 = k_з^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}$ где $k_з = \frac{I_1}{I_{1\text{ном}}}$ – коэффициент загрузки; $I_{1\text{ном}}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора.

Значение коэффициента полезного действия можно рассчитать по выражению:

$$\eta = \frac{k_з^2 \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_2}{k_з^2 \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi + \Delta P_{XX} + k_з^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}} \qquad (1)$$

По выражению (1) возможно вычислить $k_з$, при котором коэффициент полезного действия максимален. Приравняв к нулю производную $\frac{d\eta}{dk_з}$ получим:

$$k_з^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} = \Delta P_{XX}$$

Следовательно, КПД имеет максимальное значение при равенстве потерь мощности в проводах обмоток и в стали. Следовательно, оптимальный коэффициент загрузки трансформатора:

$$k_з = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{КЗ}}}$$

Обычно для современных силовых трансформаторов

$$\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{КЗ}} = 0{,}2 - 0{,}3$$

и, следовательно, максимум КПД имеет место при

$$k_з = 0{,}4 - 0{,}5\,.$$

На рис. 1 показана зависимость КПД трансформатора мощностью 400 кВА от коэффициента загрузки при фиксированных cosφ.

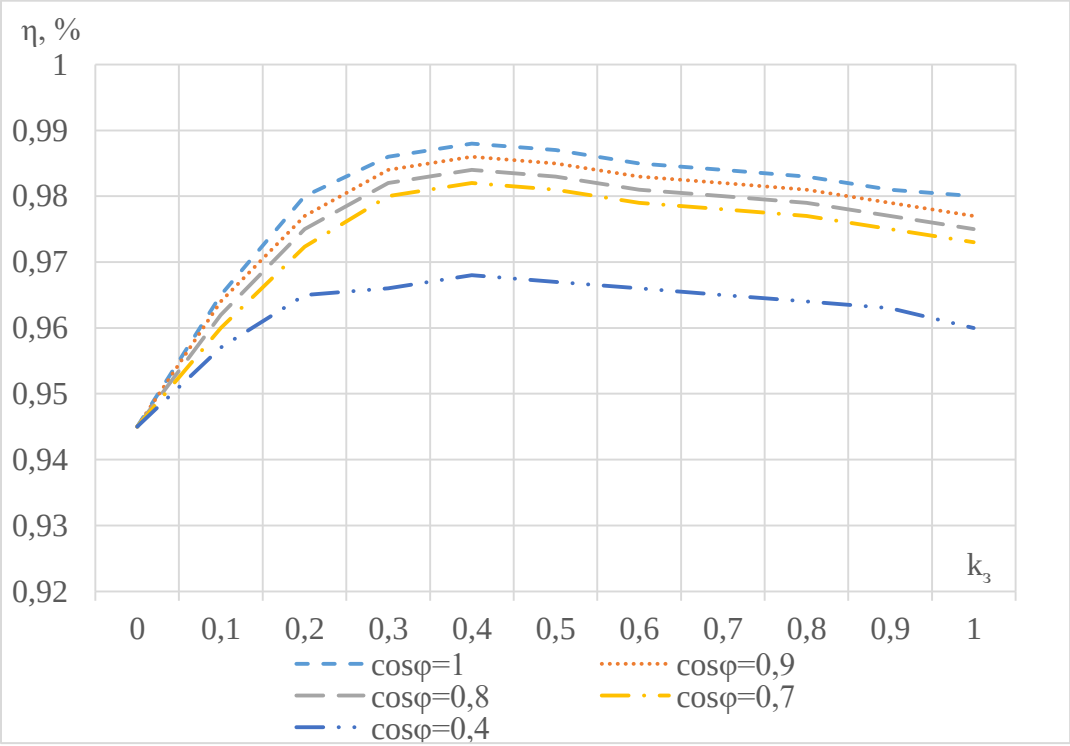


Рис. 1. График зависимости КПД от коэффициента загрузки трансформатора и коэффициента мощности нагрузки

Из графика видно, что трансформатор имеет практически постоянный КПД в широком диапазоне изменения нагрузки от 0,5 до 1,0. При малых нагрузках и уменьшении коэффициента мощности КПД трансформатора резко снижается.

На рис. 2 показана зависимость оптимального коэффициента загрузки от номинальной мощности трансформаторов 10/0,4 кВ. Видно,

что при увеличении мощности трансформатора его оптимальный коэффициент загрузки уменьшается.

Развитая номенклатура трансформаторов, выпускаемых промышленностью, предполагая фиксированные значения потерь мощности в стали и в меди для каждого типа трансформатора при заданном графике потребления и неизменных остальных элементах системы электроснабжения, позволяет реально ставить вопрос о выборе номинальной мощности трансформатора, предполагаемого к установке, в зависимости от выбранного критерия оптимальности [8].

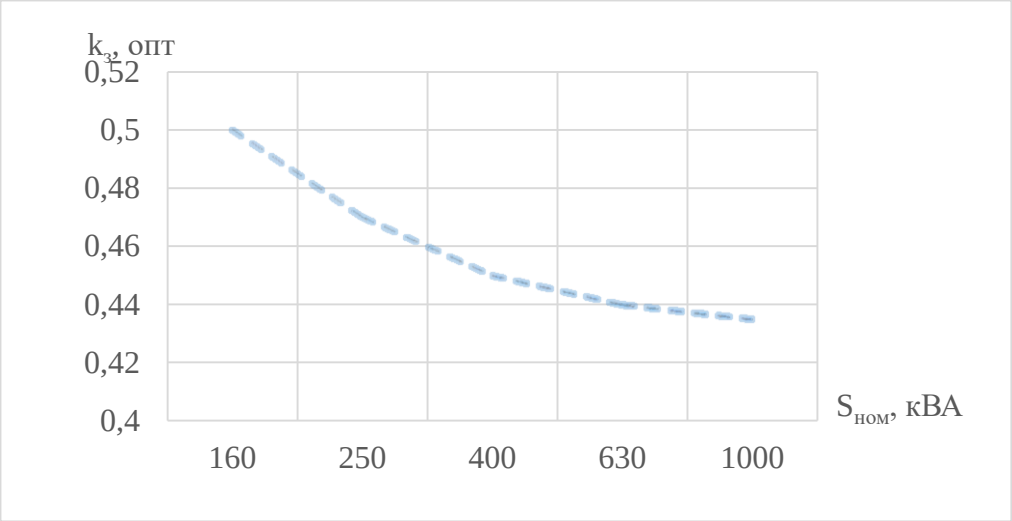


Рис. 2. Зависимость оптимального коэффициента загрузки трансформатора 10/0,4 кВ от его номинальной мощности

При рассмотрении вопроса об оптимальной загрузке трансформаторов необходимо указать, что в каждый конкретный момент времени нагрузка трансформатора определяется мощностью приемников электрической энергии, подключенных к его обмоткам, то есть графиком потребления, характером технологического процесса [9].

С изменением коэффициента загрузки трансформатора от нуля и выше его коэффициент полезного действия возрастает до определённого значения, а потом понижается. При этом суммарные потери мощности только увеличиваются. Максимум коэффициента полезного действия не соответствует минимуму потерь мощности [10–13].

Данная особенность позволяет рассмотреть следующие варианты повышение эффективности эксплуатации трансформаторных подстанций промышленных предприятий:

1) если общая мощность, потребляемая нагрузкой ниже уровня 30–40 % $S_{\text{Н.Т.}}$, то в качестве меры энергосбережения целесообразно

отключить один или несколько трансформаторов, чтобы довести загрузку остальных трансформаторов до оптимальной величины;

2) при замене трансформаторов, исчерпавших ресурс, или модернизации трансформаторных подстанций предпочтительной является установка энергоэффективных трансформаторов с улучшенными характеристиками (такими как нагрузочные потери и потери в стали), а также наличием системы мониторинга и диагностики состояния трансформаторов;

3) применение компенсирующих устройств для увеличения коэффициента полезного действия силовых трансформаторов промышленных предприятий нецелесообразно, так как повышение КПД за счёт роста коэффициента мощности происходит, в среднем, менее чем на 1–3 %.

Согласно европейским стандартам гармонизации [14, 15], основными показателями энергетической эффективности для силовых трансформаторов являются потери холостого хода и короткого замыкания. Нормы HD 428.1 для масляных трансформаторов допускают три уровня потерь короткого замыкания (A, B, C) и три уровня потерь холостого хода (A’, B’, C’).

Увеличение значения коэффициента загрузки трансформатора от нулевой отметки и далее влияет на рост его коэффициента полезного действия до определённого значения, а затем значение начинает снижаться, причем суммарные потери мощности только увеличиваются, что приводит к тому, что максимальное значение коэффициента полезного действия не тождественно минимальному значению потерь мощности.

Такая отличительная черта дает возможность проанализировать несколько способов повышения эффективности эксплуатации трансформаторных подстанций: отключение одного или нескольких трансформаторов для доведения загрузки остальных трансформаторов до оптимальной величины; установка энергоэффективных трансформаторов с улучшенными характеристиками.

Источники

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. 672 с.

2. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надёжность и диагностика электроустановок. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2000. 348 с.

3. Дынькин Б.Е. Использование перегрузочной способности трансформаторов в условиях резко переменной нагрузки. // Транспорт: наука, образование, производство. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Р. н/Д.: Изд-во: РГУПС, 2017. С. 97–101.

4. Фёдоров О.В. Некоторые особенности структуры систем внутрицехового электроснабжения // Надёжность и безопасность энергетики. 2015. № 3 (30). С. 30–33.

5. Козаков Ю.Б., Козлов А.Б., Коротков А.В. Учёт изменения потерь холостого хода трансформатора в период срока службы при расчёте потерь в распределительных сетях // Электро. 2006. № 5. С. 11–16.

6. Коротков А.В., Фролов В.Я. Результаты измерений мощности потерь холостого хода трансформатора с различным сроком службы // Электрика. 2011. № 8. С. 8–11.

7. Грачёва Е.И., Наумов О.В., Садыков Р.Р. Учёт потерь холостого хода трансформаторов в период эксплуатации при расчёте потерь электроэнергии в распределительных сетях. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1-2. С. 53–63.

8. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Проблемы современного трансформаторостроения в России // Электричество. 2000. № 8. С. 2–10.

9. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Электротехнические комплексы и системы предприятий как объекты энергоснабжения // Электрические аппараты и электротехническиекомплексы и системы: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ульяновск, 2012. С. 222–226.

10. Моделирование параметров функциональных характеристик цеховых сетей / Е.И. Грачёва [и др.] // Технические науки – от теории к практике: матер. междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2015. № 12 (48). С. 105–114.

11. Issouf Fofana. Modeling and simulation of transformer loading capability and hot spot temperature under harmonic conditions // Electric Power Systems Research. 2013. Vol. 86. Pp. 68–75.

12. Hemmatjou H. Effect of power system harmonics on transformer loading capability and hot spot temperature // 25th Annual Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 2013. Pp. 213–216.

13. Sudhanshu Goel, Aparna Akula. Condition monitoring of transformer using oil and winding temperature analysis // IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics Engineering (UPCON). 2016. Pp. 365–369.

14. Emil Cazacu, Lucian Petrescu. Losses and temperature rise within power transformers subjected to distorted currents // 15th International

Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA). 2017. Pp. 192–196.
УДК 621.31

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Э.А. Гадиева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Ilmira19-1996@mail.ru
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Н.В. Денисова

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы систем резервирования для обеспечения электроснабжения потребителей, требующих бесперебойного электропитания. Предложено использовать современные системы резервирования с помощью гибридных накопителей энергии.

Ключевые слова: резервирование, бесперебойное электропитание, надежность электроснабжения, гибридные накопители энергии, аккумуляторные батареи.

В производственной и социальной нише экономики существует ряд потребителей электроэнергии, которые технологически не допускают перерывов электропитания даже на время срабатывания АВР. Это связано с тем, что данный процесс может привести к нарушению всей технологической «цепочки» производства с необратимыми последствиями или к значительным экономическим ущербам, поэтому необходимо разработать альтернативные накопители электроэнергии. Наибольший эффект от применения системы резервирования получают потребители как экономически, так и по качеству электроэнергии.

Накопители электроэнергии со сравнительно коротким циклом накопления (сутки или меньше) играют важную роль для потребителей как средство обеспечения высокого качества потребляемой электроэнергии.

Накопители энергии являются базовыми структурными элементами автономных систем электроснабжения (АСЭ), способными эффективно накапливать избыточную электроэнергию во время меньших нагрузок (ночью) и отдавать ее во время повышения нагрузки (днём), удовлетворяя требования по надежности и качеству элктроснабжения конкретных потребителей. В установках, имеющих подключение к сети, наличие НЭ и связанных с ними преобразователей позволяет сохранить электроснабжение потребителей при отключениях сети.

В настоящее время в системах электроснабжения в качестве накопителей энергии широко применяются аккумуляторные батареи (АКБ), наиболее известные – это свинцово-кислотные, натрий-серные,

литий-ионные и никель-кадмиевые аккумуляторные батареи, стоимость которых может достигать до половины стоимости всего используемого оборудования, а срок их службы полностью зависит от количества циклов «заряд – разряд» в процессе дальнейшей эксплуатации. Среди накопителей энергии, представленных на рынке, особое внимание уделяется электрохимическим конденсаторам (ЭК) или ионисторам, также известным, как суперконденсаторы. К отличительным особенностям ЭК можно отнести их способность быстро заряжаться неограниченное количество раз и разряжаться за время от нескольких миллисекунд до десятков минут, отдавая необходимые мощности в нагрузку. К недостаткам электрохимических конденсаторов можно отнести относительно низкую плотность энергии и высокий саморазряд. Однако ионисторы имеют большую выходную мощность, позволяющую использовать их вместе с АКБ, объединяя достоинства и компенсируя недостатки. Поэтому перспективным представляется применение суперконденсаторов в системах электроэнергетики для стабилизации напряжения и сглаживания пиковых нагрузок.

Использование гибридных накопителей позволит коммерческим организациям и промышленной отрасли уменьшить расходы на электроэнергию за счет заряда ночью по недорогому тарифу и расходу накопленной ранее энергии днем, когда тариф значительно выше.

В момент промежуточных (меньших) нагрузок включается в работу аккумуляторная часть гибридного накопителя электроэнергии, которая способна в течение длительного времени покрывать повышенную нагрузку потребителя, в момент пиковых нагрузок начинает работать суперконденсаторная часть, компенсируя возмущения несколько первых минут, выдавая большую мощность за короткое время. Таким образом, происходит компенсация пиковых нагрузок, обеспечивая качество напряжение в системах электроснабжения.

Суточный график нагрузки

Современные суточные графики нагрузок энергосистемы отличаются большой неравномерностью, подобный график представлен на рисунке.

В настоящее время сохраняется тенденция роста неравномерности графиков нагрузки. Причинами данной тенденции является:

1) изменение структуры энергопотребления, вызванной увеличением доли коммунально-бытового, транспортного и сельскохозяйственного потребления;

2) изменение условий работы промышленности, снижении сменности в промышленных отраслях.

Пиковые нагрузки имеют сильное влияние не только на большие энергосистемы, но они также напрямую влияют на напряжение в системах электроснабжения промышленных и коммерческих организаций различных уровней.

Для решения этих проблем предложен новый подход для обеспечения соответствующего качества электроэнергии и напряжения. Благодаря применению гибридного накопителя электроэнергии, построенного на комбинации аккумуляторной батареи и батареи суперконденсаторов.

Использование такого накопителя электроэнергии позволит сглаживать суточные графики потребления электроэнергии, благодаря гибкому добавочному резерву мощности, который сможет покрыть возникший дефицит энергии и оперативно выдать необходимую мощность в сеть, тем самым обеспечивая поддержание уровня напряжения в системах электроснабжения.

Источники

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: М.: Стандартинформ, 2014. 17 с.

2. Источники бесперебойного питания [Электронный ресурс]. URL: http://fb.ru/article/255512/sistemyi-bespereboynogo-pitaniya-tipyi-harakteristiki-montaj-istochniki-bespereboynogo-pitaniya (дата обращения: 27.09.2018).

3. Карташев И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. М.: Издательство МЭИ, 2000. 120 с.

4. Колесников А.А., Веселов Г.Е., Кузьменко А.А. Новые технологии проектирования современных систем управления процессами генерирования электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 354 с.

5. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2000. 144 с.

6. Русина А.Г., Филиппова Т.А. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во «Юрайт», 2018. 399 с.

УДК 621.316

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 35–110 кВ

А.Ф. Гайнутдинов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
adelgainutdinov1234567@gmail.com
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Р.Р. Хуснутдинов

Аннотация. Вопросами создания так называемых умных или интеллектуальных сетей – Smart Grid – в мире озаботились еще лет 10–15 назад. В России, в том числе и Татарстане, также внедряются программы по переводу электрических сетей в формат «умная» сети.

Ключевые слова: «Умная» сеть, модернизация оборудования, энергосбережение, технические и программные продукты.

Интеллектуальные или «умные» сети – это электрические магистральные и распределительные сети, наделенные способностью бесперебойно осуществлять электроснабжение, причем с максимальной экономической эффективностью. Иными словами – это сети, обладающие такими свойствами, как самодиагностика и самовосстановление, способные в автоматическом режиме выявлять самые слабые участки сети и опять же в автоматическом режиме перестраивать работу сети, чтобы избежать аварии. Созданная в стране энергетическая система, в свое время признанная лучшей в мире, в настоящее время устарела, что является следствием физического и морального износа. Если учесть, что по прогнозам экспертов в области энергетики потребление электроэнергии в ближайшие 20 лет возрастет на 25–30 %, то следует ожидать и кратное увеличение нагрузки на имеющиеся изношенные сети. В настоящее время в связи с переходом сельского хозяйства на промышленную основу, строительством крупных комплексов, ростом электропотребления на производстве и в быту единичные мощности электропотребителей растут.

Анализ состояния и видов оборудования, установленного на энергетических объектах, показал, что основная масса распределительных устройств объектов энергетики укомплектована физически и морально

устаревшими масляными выключателями (МВ) и выключателями нагрузки (ВН).

Кроме того, конструкции самих распределительных устройств (РУ) очень разнообразны с бетонными или кирпичными ячейками, изготовленные на многих предприятиях и в разное время. Часть этих предприятий в настоящее время не работает, а некоторые оказались за пределами России.

Обзор появившегося нового коммутационного оборудования позволяет сделать вывод, что замена входящих в них выключателей на новые и более современные даёт возможность значительно продлить их ресурс и срок эксплуатации, так как остальные элементы ячеек и камер распределительных устройств изнашиваются значительно меньше и могут прослужить еще длительное время. Таким образом, замена входящих в состав распределительных устройств маломасляных выключателей и выключателей нагрузки на вакуумные и элегазовые сведет к минимуму затраты на их модернизацию и в дальнейшем – затраты на эксплуатацию, так как данные выключатели, обладая значительно большим ресурсом, практически не нуждаются в обслуживании и намного проще в ремонте.

В ОАО «Сетевая компания» введены в эксплуатацию системы мониторинга и сбора аварийной информации от устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики на ПС 500 кВ Киндери, ПС 500 кВ Бугульма, ПС 110 кВ Южная, ПС 110 кВ Западная (Казанские электрические сети), ПС 110 кВ Каргали (Чистопольские электрические сети), ПС 110 кВ Бугульма (Бугульминские электрические сети). В текущем году начаты работы по вводу в эксплуатацию пилотных проектов АСУ ТП на ПС 110 кВ Новокремлёвская, Компрессорная (КЭС), Осиново (Приволжские электрические сети), разработки ведущих производителей систем автоматизации и релейной защиты в России [1].

В 2016 г. Schneider Electric приняло участие в реализации инновационного проекта Республики Татарстан – «СМАРТ Сити Казань». Компания предлагала разработать и построить центр управления «умным» городом, где в частности, предполагается применить собственные комплексные интегрированные решения в области интеллектуальных сетей (Smart Grid).

С компанией Schneider Electric у энергетиков Татарстана давние связи. С 2008 года на территории Татарстана действует завод Schneider Electric по производству распределительных устройств низкого и среднего напряжения (ячейки SM6, OKKEN и NEXIMA). Кроме того, в городе Заинске успешно работает завод ТАТЭК, где по лицензии Schneider

Electric выпускаются блочные комплектные трансформаторные подстанции для городских электрических сетей Татарстана [2].

В 2017 г. специалистами компании ООО «Прософт-Системы» была успешно внедрена система Smart Grid (Умные сети) в ОАО «Сетевая компания» (Республика Татарстан). Система запущена в трех городах: Казань, Набережные Челны, Нижнекамск. Основным оборудованием, которое собирает, анализирует и передает данные, выполняет алгоритмы и выдаёт управляющие воздействия, стали многофункциональные контроллеры линейки ARIS [3].

В 2016 г. в г. Казани проводились мероприятия по монтажу и пусконаладке оборудования на объектах «Салават купере» – социально значимого для республиканской столицы жилого комплекса, население которого должно составить 65 тысяч жителей. Внутри БКТП (блочной комплектной трансформаторной подстанции) устанавливаются устройства, которые будут контролировать всю электрическую сеть возводимого по республиканской программе социальной ипотеки микрорайона.

Smart-устройства представляют собой контроллеры со свободно-программируемой логикой. В них закладываются алгоритмы восстановления сети [3].

Таким образом, в республике внедряются технологии, которые позволяют осуществлять бесперебойное электроснабжение потребителей и в случае перерыва восстановить электроснабжение в минимальными временными затратами. В соответствии с политикой клиенториентированности компании потребители должны быть всегда обеспечены светом.

Источники

1. ОАО «Сетевая компания» и Schneider Electric обсудили вопросы взаимодействия в Республике Татарстан [Электронный ресурс] // Форум ENES. URL: http://enes-expo.ru/ru/novosti/485-oao-setevaya-kompaniya-i-schneider-electric-obsudili-voprosy-vzaimodejstviya-v-respublike-tatarstan.html (дата обращения: 19.02.2018).

2. URL: https://energybase.ru/distribution/gridcom-rt (дата обращения: 19.02.2018).

3. «Прософт-Системы» успешно реализовали систему Smart Grid в Республике Татарстан [Электронный ресурс] // Цифровая подстанция. http://digitalsubstation.com/blog/2017/06/15/prosoft-sistemy-uspeshno-realizovali-sistemu-smart-grid-v-respublike-tatarstan/ (дата обращения: 19.02.2018).

УДК 620.178.5: 621.314.21

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Р.Р. Галиев[1], В.Р. Басенко[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2]rustam.galiev.97@inbox.ru
Науч. рук. канд. техн. наук М.Ф. Низамиев

Аннотация. Разработаны и созданы измерительно-диагностический комплекс и программное обеспечение для бесконтакного контроля технического состояния трансформаторного оборудования.

Ключевые слова: трансформатор, вибрационный метод диагностики, спектральный метод, измерительно-диагностический комплекс, лазерный виброметр.

Сегодня вопросы диагностики электрооборудования в России очень затрагиваемые из-за того, что у большей части оборудования прошли сроки эксплуатации, и они работают на износ. Поэтому требуется повышенное внимание и частые эксплуатационные проверки.

Высоковольтное оборудование на станциях и подстанциях (ПС) находится под влиянием электрических, электромагнитных, тепловых полей и электродинамических усилий, которые приводят к развитию дефектов, неисправностей и отказов. Особым оборудованием, за которым нужен тщательный присмотр, является силовой трансформатор. При его выходе из строя нарушается электроснабжение большого количества электроприемников и потребителей.

Существует много способов определения состояния узлов трансформаторов. Предпочтение отдается способам, при которых не нужно выводить оборудование из работы. Одним из наиболее объективных является вибрационный метод, который с высокой точностью позволяет определять параметры вибрации, выявлять отличительные признаки в колебаниях оборудования трансформаторов, связанных с неудовлетворительным состоянием прессовки обмоток, магнитопроводов и дефектов подшипников маслонасосов.

Состояние рабочей части трансформатора достаточно часто проверяется такими характеристиками, как виброперемещение, виброскорость и виброускорение.

При проверке трансформаторов вибрационным методом для снятия измерений используют спектроанализаторы, которые разлагают сигнал

на составные гармоники. Анализаторы имеют магнитное крепление и маленький вес – 3 кг.

В документации трансформатора представлены схемы с правильным местоположением датчиков. На рис. 1 точки установки анализаторов на баке трехфазного трансформатора показаны цифрами.

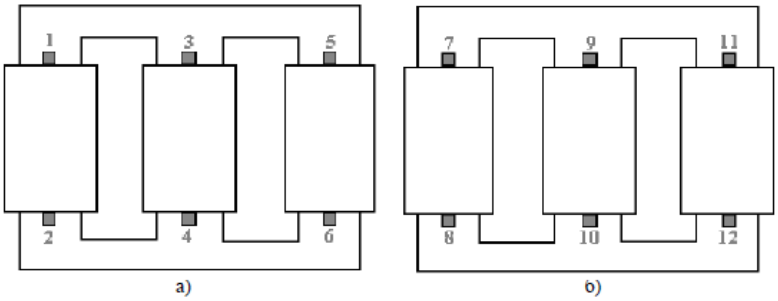


Рис. 1. Эскиз активной части трансформатора со стороны ВН (а) и стороны НН (б)

Для получения идеальных результатов необходимо производить одновременную запись во всех точках (рис. 1). Правда для таких измерений нужны сложные и дорогостоящие приборы. Для более дешевого и простого измерения используют только один датчик. На рис. 1 проводятся замеры вибрации одним анализатором со стороны вводов высокого и низкого напряжения трансформатора. После проведения измерений результаты обрабатываются экспертной системой.

Для успешных измерений прибором следует придерживаться следующих правил:

1. Анализатор должен прочно находиться на поверхности оборудования. Место прикосновения датчика с электроприемником должно быть очищено и зашкурено, также необходимо смазать это место для лучшего контакта.

2. Провода, которые идут к датчику, должны быть неподвижны. Производится запись сигналов, зарегистрированных вибродатчиком в спектроанализатор в каждой из размеченных точек. Измерения происходят в режиме нагрузки трансформатора и холостого хода.

После всех измерений информация переписывается в компьютер, где экспертная программа производит ее анализ. Результаты вибрационного обследования представляются экспертной системой в виде таблицы (табл. 1), также есть возможность просмотра вибросигналов в каждой точке измерений (рис. 2). Экспертная программа также выдает отчетный документ о состоянии трансформатора (табл. 2, рис. 3).

Таблица 1

Среднеквадратичное значение (СКЗ) виброскорости в точках замера

Сторона трансформатора	Точки	СКЗ виброскорости в точках замера, мм/с					
		А		В		С	
		ХХ	РН	ХХ	РН	ХХ	РН
ВН	Верхняя	5,80	11,25	3,6	3,37	3,0	2,77
	Нижняя	1,20	1,43	7,8	2,45	2,2	1,75
НН	Верхняя	2,66	2,36	3,3	6,11	1,3	1,12
	Нижняя	1,40	1,72	3,1	3,28	2,3	1,97

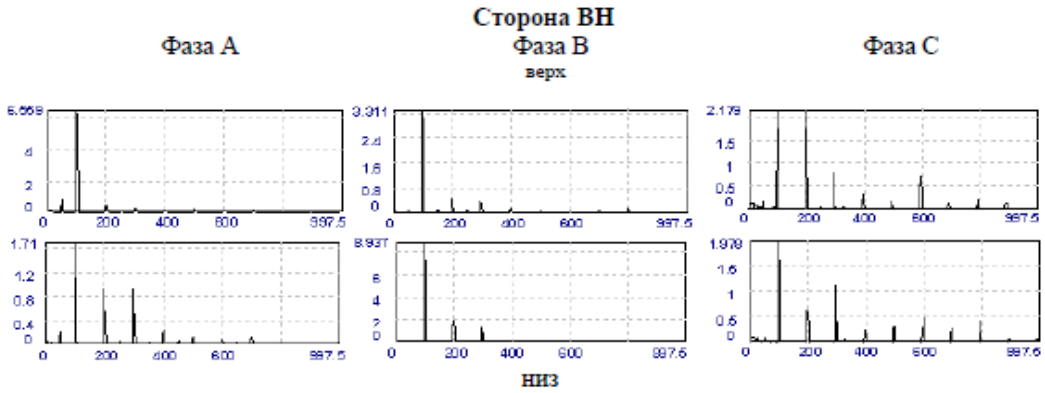


Рис. 2. Спектры виброскоростей (мм/с), полученные при измерениях на поверхности бака со стороны ВН при обследовании в режиме холостого хода

Таблица 2

Коэффициенты прессовки обмоток трансформатора

Сторона трансформатора	Точки	Коэффициент прессовки обмоток в фазе		
		А	В	С
ВН	Верхняя	0,93	0,96	0,88
	Нижняя	0,91	0,93	0,88
НН	Верхняя	0,94	0,94	0,88
	Нижняя	0,94	0,95	0,88

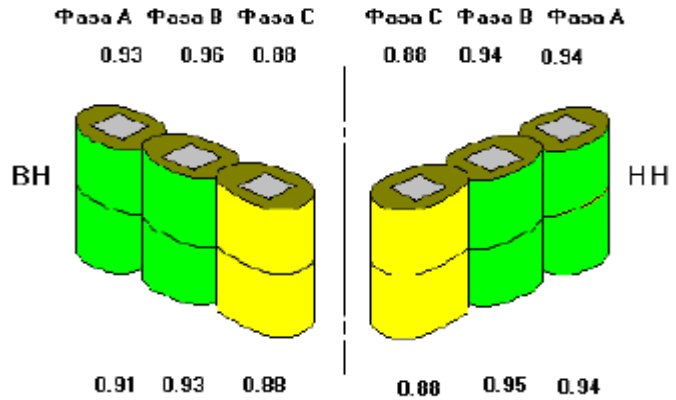


Рис. 3. Состояние прессовки обмоток трансформатора

Все системы и комплексы для измерения параметров вибрационных сигналов трансформаторов используют контактные датчики вибрации, которые обладают рядом существенных недостатков:

1. Повторяемость сигнала при установке датчика на один и тот же объект в режиме «снял – поставил» приводит к большому разбросу результатов вычислений и, как следствие, недостоверности результатов диагностики.

2. Крепление датчика при помощи магнита на работающем трансформаторном оборудовании не обеспечивает необходимый оптимальный контакт датчика с объектом контроля, поэтому приходится использовать крепежные изделия в виде стальной шпильки.

3. Основным условием сохранения широкого рабочего частотного диапазона является ровная и чистая поверхность на исследуемом оборудовании.

4. По существующей методике вибрационной диагностики активной части трансформаторов используют последовательную установку одного датчика, что при измерениях в 12 точках в каждом из двух режимом под нагрузкой и в режиме холостого хода занимает значительное время.

5. Вибрационное обследование проводится в опасной для персонала зоне с объектами повышенной опасности (под высоким напряжением).

6. Необходимость отключения трансформатора при контроле состояния подшипников маслонасосов [1].

Рис. 4. Схема измерительно-диагностического комплекса: 1 – лазерный виброметр; 2 – многофункциональный модуль ввода-вывода; 3 – персональный компьютер; 4 – программное обеспечение

Для решения данных недостатков разработан измерительно-диагностический комплекс [2, 3] с лазерным виброметром (рис. 4),

который позволяет бесконтактно, оперативно, информативно и автоматизированно определять состояние прессовки обмоток и магнитопровода, общее состояние конструкции крепления трансформатора, а также определять состояние подшипников маслонасосов для предотвращения аварийных ситуаций и проведения своевременных ремонтов.

ИДК состоит из лазерного виброметра (PDV-100), который регистрирует вибрационный сигнал и передает его на многофункциональный модуль ввода-вывода (NIUSB-6212), после чего сигнал передается на персональный компьютер, где преобразуется в амплитудный спектр с использованием процедуры быстрого преобразования Фурье и анализируется программно-алгоритмическим обеспечением, разработанным в среде графического программирования LabVIEW13.0 [4]. После проведения анализа полученной информации, используя вероятностные характеристики сравнения, формируется решение о состоянии контролируемого объекта.

Основным преимуществом данного метода является использование в качестве измерительных датчиков лазерных доплеровских виброметров, которые позволяют бесконтакто и без предварительной подготовки поверхности объекта повышенной опасности (под высоким рабочим напряжением) измерять параметры вибрации в различных точках трансформатора. Также виброметр PDV-100 позволяет производить измерения на расстоянии до 30 м, без влияния многочисленных шумов на исследуемые колебания.

Программно-алгоритмическое обеспечение реализует следующий алгоритм диагностирования:

1. Получение первичной измерительной информации с помощью преобразователей сигналов (по одному и нескольким каналам) и приведение ее в форму удобную для дальнейшей обработки.

2. Обработка информации и представление результатов обработки в форме, пригодной для анализа и дальнейшей интерпретации.

3. Проведение анализа полученной информации, используя вероятностные характеристики сравнения, и формирование решения о состоянии контролируемого объекта.

В результате проделанной работы разработан и создан ИДК со специализированным программным обеспечением для контроля технического состояния трансформаторов, который позволит:

– выявлять состояние прессовки обмоток и магнитопровода трансформатора;

– выявлять дефекты подшипников маслонасосов;

– выявлять общее состояние крепления конструкции трансформатора.

ИДК апробирован в рамках договора № 496-ЕП от 8.04.2013, реализуемого в рамках договора № 9932/17/07-К-12 от 20.11.2012, исполняемый в рамках проекта «Создание семейства двигателей КАМАЗ на альтернативных видах топлива с диапазоном мощностей 300...400 л.с. и потенциалом выполнения перспективных экологических требований» на тему «Разработка системы виброакустической диагностики для экспресс-контроля деталей перспективного газового двигателя» для ПАО «КАМАЗ».

В дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований на действующей подстанции и разработка методики контроля технического состояния трансформаторного оборудования.

Источники

1. Брюль и Къер. Пьезоэлектрические акселерометры и предусилители. Справочник по теории эксплуатации. Нэрум: Дания, издание фирмы Брюль и Къер, 1978. 111 с.
2. Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 3-4. С. 109–114.
3. Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния электротехнического оборудования / М.Ф. Низамиев [и др.] // Электрика. 2015. № 6. С. 18–25.
4. Гаврилов В.А., Сабиров А.Р., Ившин И.В. Применение программного обеспечения labVIEW для проведения диагностики элементов ВВТ // Совершенствование боевого применения и разработок артиллерийского вооружения и военной техники: сб. науч.-техн. ст. Казань, 2007. С. 18–24.

УДК 621.311.001

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Р.Ф. Галимов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
475025@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук Е.И. Грачёва

Аннотация. Значительный экономический ущерб стране и отдельным потребителям наносят перерывы в электроснабжении. Важнейшей задачей остается

обеспечение надежности электроснабжения потребителей на всех уровнях иерархии инфраструктуры электроэнергетики. Следовательно, при строительстве, реконструкции и эксплуатации распределительных электрических сетей существует острая необходимость в разработке новых технических решений.

Ключевые слова: распределительные сети, надежность электроснабжения, структурная матрица, средняя частота отказов, средняя готовность.

В основе бесперебойного электроснабжения лежат повышенные требования к надежности распределительной электрической сети. За долгие годы существования энергосистем были разработаны разнообразные методы оценки качества работы радиальных сетей, пригодные для решения различных задач. Но в последнее время наблюдается расширение функционала распредсети за счёт включения активных элементов, установок распределённой электрогенерации, создаются активно-адаптивные сети. Как следствие, классические методики оценки не дают возможность достоверно рассчитать надежность подобных решений в отдельности и сети в целом.

В виду сложной распределённой структуры современных сетей электроснабжения стандартные методы крайне трудозатратны и при этом характеризуют электроснабжение рядом несвязанных частных случаев, не давая оценить надежность в целом. Развитие теории и практики моделирования позволяет учитывать процессы, происходящие не только в сетевой части, но и во вторичных сетях.

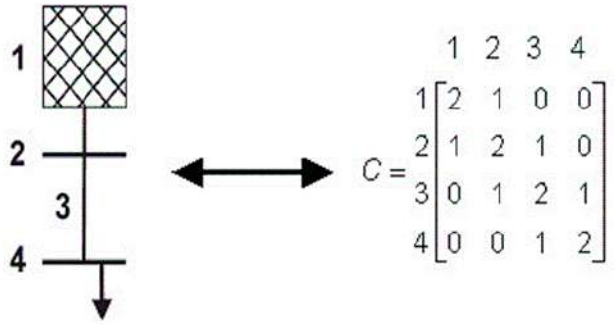


Рис. 1. Построение матричной структуры [1]

В качестве варианта оценки надежности воспользуемся представлением сети в виде матрицы Биллинтона-Алана. Рис. 1 показывает переход от совокупности элементов к матрице, что позволяет произвести матмоделирование различных конфигурации сетей от элементарных до достаточно разветвленных. Математические модели в матричном представлении значительно упрощают оценку надежности. Подобные матрицы позволяют описывать топологию сети. Так значение

«2» показывает работоспособное состояние элемента, с помощью «1» показывают наличие электрической связи между элементами сети, а «0» – нерабочее состояние элемента.

Изучение некоторых научных работ [1–3] дает возможность констатировать слабую степень адекватности традиционных подходов к оценке надежности распредсетей современных, так называемых «интеллектуальных» сетей. В подобных сетях при оценке уровня надежности требуется учитывать возможности автоматической реконфигурации сети структурами интеллектуального управления.

Применяемые ранее методы [2] могли учитывать только проектную конфигурацию сети в нормальном режиме, а любое структурное изменение требовало полного пересчета надежности. Современная энергетика требует методики, учитывающей учет разнообразные конфигурации структуры сети в части определения надежности конкретного режима и параметров электрических величин его характеризующих, что позволит получить достоверные данные о надежности.

В сетях со сложной иерархиальной структурой параметры отказа элемента зависят не только от него, но и от работоспособности элементов, расположенных выше по уровню ответственности. При этом в понятие «работоспособное состояние» вкладывается не только физическое состояние элемента, но и соответствие его параметров, таких как номинальные ток и напряжение, соответствующие режимному уровню. Также следует учитывать, что в «неработоспособное состояние» элемент может привести и изменение его топологических характеристик.

На рис. 2 [3] представлен пример схемы, отражающий возможность реконфигурации сети. Поясним на нем суть и применение вводимого понятия зоны. Рассматриваемая сеть проектировалась по принципу кольцевой, но из-за отключения отдельных линий она работает по принципу радиальной. Нормально отключенные линии обозначены символом «X». Подобные элементы несут в себе функцию автоматического резерва при отключении питания на источнике. Распределительная сеть в свою очередь разбивается на зоны, внутри которых возможны изменения конфигурации при помощи включения или отключения неисправных элементов или диспетчерских решений о задействовании различных линий. Так, описываемая схема содержит тридцать восемь элементов, разделенных на пять зон функционирования.

Зона № 1. При фиксации неработоспособного состояние одного из элементов производится подключение резервной линии $L_{3\text{–}4}$, что изменяет источник питания для зоны № 1, и структура сети переходит в другую

конфигурацию. Рассмотрим подробнее: если на подстанции № 1 напряжение опускается до опасного уровня, то релейная защита по минимальному напряжению отключает питание, что приводит к тому, что и подстанция № 2 и № 3 остаются без питания. Соответственно подключение линии $L_{3–4}$ восстанавливает электроснабжение на № 2 и № 3.

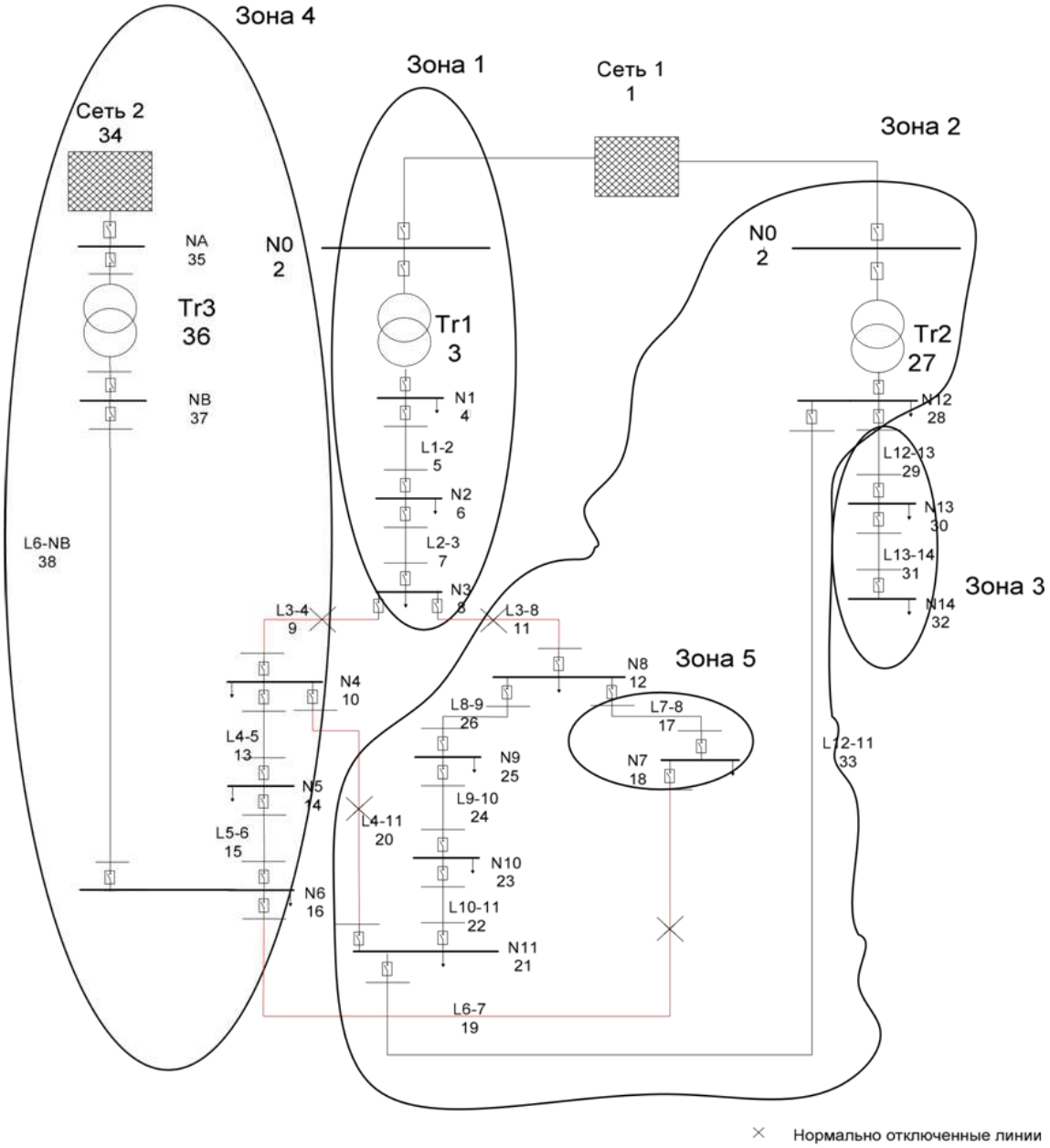


Рис. 2. Разбиение распределительной сети на рабочие зоны [3]

Рассмотрим другой случай. Если на линии $L_{1–2}$ происходит короткое замыкание, то МТЗ даёт сигнал на отключение линии. Подстанции № 2 и № 3 вновь остаются без электроснабжения, которое можно восстановить путем включения линии $L_{3–4}$, которая будет подключаться при любых повреждениях в зоне № 3.

Выбор линии осуществляется на основе расчёта электрических параметров, с помощью которых можно выяснить возможность нарушения режима работы и остальных структурных элементов сети. В рассматриваемых случаях выход из строя подстанции № 3 не приводит к подобным последствиям, а следовательно, изменение конфигурации сети обеспечивает надежность электроснабжения. Для остальных зон процедуры аналогичны.

При помощи рассмотренной модели можно проводить расчёты режимной надежности с учётом реконфигурации сети, что позволяет получить данные для настройки максимальных токовых защит и защит минимального напряжения. Следовательно, метод позволяет создать самую эффективную схему сети и рассчитать надежность электроснабжения.

Таким образом, можно выявить главные особенности модели расчёта надежности:

– моделирование отказов и восстановлений элементов районной электрической сети Марковским случайным процессом при постоянных значениях интенсивностей отказов и восстановлений элементов;

– учет режимов работы РЭС путем расчета потокораспределения и контроля допустимости напряжений в узлах и токов в линиях;

– моделирование отказов силовых элементов РЭС с использованием правил надежности n–1 и n–2.

– учет отказов выключателей и средств защиты в показателях надежности линий, трансформаторов и подстанций;

– учет возможности реконфигурации РЭС в послеаварийных режимах для повышения надежности электроснабжения потребителей;

– определение показателей надежности элементов (частота отказов, продолжительность отказов, вероятность отказа) и схемы в целом;

– расчет условного недоотпуска электроэнергии потребителям РЭС с экстраполяцией режима, рассчитанного при заданном уровне нагрузки (например, максимума) на рассматриваемый период.

Источники

1. Billinton R., Allan N. Reliability evaluation of engineering systems. Concept and techniques. New York: Plenum Publ. Corp., 2012. 312 p.

2. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике: монография / Н.И. Воропай [и др.]; отв. ред. чл.-корр. РАН Н.И. Воропай, д-р техн. наук Г.Ф. Ковалёв. М.: ООО Изд. «Энергия», 2013. 212 с.

3. Анашкин С.С., Борисовский А.П., Ерохина Ю.Е. Надежности электроснабжения потребителей [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2018. № 3. С. 34–36. URL https://moluch.ru/archive/189/47932/ (дата обращения: 29.01.2019).

УДК 621.398

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Р.Ф. Галимов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
475025@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук Е.И. Грачёва

Аннотация. В последнее время возникла необходимость разработки методов оценки качества функционирования электрических сетей. В работе рассмотрены законы распределения отказов на основе данных статистики отказов промышленных предприятий. Получены базовые характеристики работы коммутационного оборудования в цеховых сетях.

Ключевые слова: распределительные сети, низкое напряжение, эффективность эксплуатации, автоматическая коммутационная аппаратура, контактные соединения.

Развитие электрических сетей и расширение их функционала, характерное для настоящего времени, подразумевает их постоянное усовершенствование. В тоже время усложнение электрических сетей повышает число взаимосвязанных элементов, что в свою очередь снижает надежность их взаимного взаимодействия. Рандомные события могут послужить причиной нарушения функционирования и отдельных элементов сети и её части, что вызывает перебои в подачи электроэнергии, либо ненормированное снижение её качества у потребителей. Такими причинами, к примеру, могут быть ошибки при проектировании, несовершенство эксплуатации и некачественный монтаж объектов и т.п.

В последнее время возникла необходимость разработки методов оценки качества функционирования электрических сетей [1, 2]. Разработка этих методов отличается значительной трудоёмкостью и предполагает детальную информацию о характеристиках случайных процессов в элементах цеховых сетей.

На сегодняшний день выбор способов резервирования и их реализация в электрических сетях 0,4 кВ проводят таким способом, чтобы при выходе из строя какого-либо элемента в соседнем не допускалось возникновение отклонения режимов или нарушение функционирования.

Отказ системы относительно узлов нагрузки может наступить только при отказе двух взаиморезервирующих элементов. Указанные обстоятельства, характерные именно для цеховых сетей, обусловливают необходимость условного подразделения надежности электрических систем на структурную и функциональную. Электрическая система внутризаводского электроснабжения, в частности ее подсистема распределения электрической энергии – цеховая сеть, состоит из высоконадежных элементов, когда время безотказной работы во много раз больше времени восстановления элементов, и отказ более двух независимых элементов событие маловероятное.

Как известно [1], по структуре электрической сети можно судить об особенностях выполнения её функций. Изучение структуры позволяет выявить отдельные элементы в единой системе, самостоятельных в смысле надежности, то есть функциональные зависимости между параметрами режимов становятся вторичными. Такой подход к надежности предполагает применение «элементных» методов анализа и расчета надежности, которые широко распространены в смежных с энергетикой отраслях техники.

Применение элементных методов расчета надежности на современном этапе оправдано не только реальными особенностями функционирования, но и задачами, которые могут быть решены при реальных возможностях получения информации об отказах оборудования и его режимах работы.

Под отказом элемента при использовании элементного метода подразумевают выход его номинальных параметров, таких как электрические, механические, тепловые и прочие, за уровень, при котором он перестает выполнять свои функции.

Основным недостатком расчета элементным методом является то, что он не предусматривает проведение анализа функциональных зависимостей параметров режима. В тоже время простота расчёта и возможность получить количественные оценки в явном виде делают применение данного метода вполне разумным.

Оценка функционирования производится на этапе проектирования, реконструкции или при эксплуатации. Поэтому необходимы методы оценки надежности, позволяющие использовать минимум исходных данных и в то же время обеспечивающие достаточно достоверные результаты.

В цеховых сетях с большим количеством взаимосвязанных элементов, автоматической коммутационной аппаратуры значительное влияние на надежность оказывает не только структура схемы, но и надежность функционирования автоматики и коммутационной аппаратуры.

В общем случае техническое состояние электрического контактного соединения является функцией тока, площади контактного соединения, момента затяжки (для резьбового соединения), а также зависит от наличия коррозии, нагара и т.д. По превышению температуры контактного соединения над температурой окружающей среды возможно косвенно оценить техническое состояние контактного соединения с учетом влияющих на него факторов.

Оценим достоверность найденного параметра потока отказов, т.е. определим доверительные границы, в которых находится действительная величина параметра потока отказов для данного типа элементов.

Доверительные границы могут быть определены лишь с некоторой вероятностью, называемой доверительной вероятностью, или коэффициентом доверия. Выбор величины доверительной вероятности в большей степени зависит от цели исследования. Опыт показывает [2], что доверительная вероятность 0,95 или 0,9 вполне достаточна для практических целей.

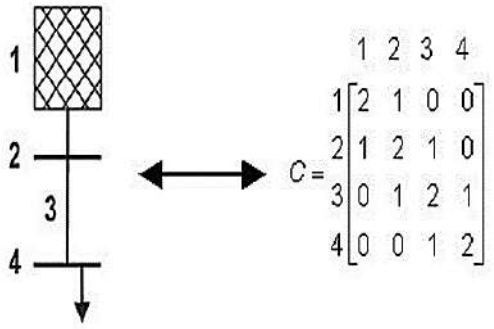


Рис. 1. Влияние числа циклов операций включения-отключения на надежность работы контактов автоматических выключателей серии А

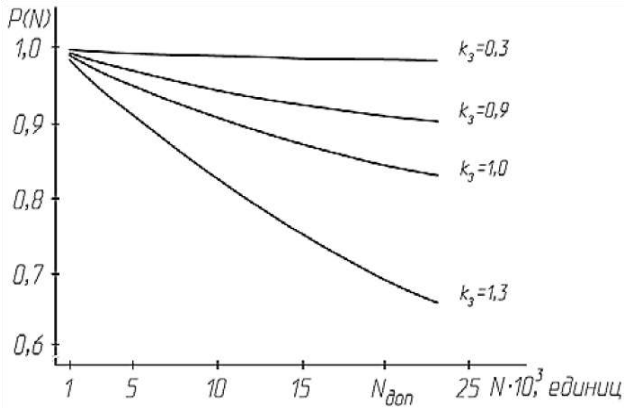


Рис. 2. Влияние числа циклов операций включения-отключения на надежность работы контактов автоматических выключателей серии АЕ

В результате исследований коммутационной способности и режимов работы низковольтных коммутационных аппаратов [1], получены зависимости влияние числа циклов включения-отключения на надежность работы контактов коммутационных аппаратов различных серий (рис. 1, 2) [1]. Как следует из представленных номограмм, наблюдается явная зависимость вероятности безотказной работы контактных групп коммутационных аппаратов от числа циклов операций включения-отключения.

Отношение вероятностей безотказной работы схемы без учета контактных соединений и с учетом контактных соединений с течением времени увеличивается, что показывает существенное влияние контактных соединений коммутационных аппаратов на эффективность функционирования цеховых сетей. Цеховые сети промышленных предприятий – наиболее разветвленные и протяженные с большим количеством последовательных соединений. Поэтому при оценке характеристик надежности требуется учет эксплуатационных характеристик коммутационных аппаратов и контактных соединений.

Источники

1. Грачева Е.И., Наумов О.В. Потери электроэнергии и эффективность функционирования оборудования цеховых сетей: монография. Москва: РУСАЙНС, 2017. 168 с.

2. Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка технического состояния контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов по данным тепловизионного контроля // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2005. № 9-10. С. 86–92.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ СБОРА, КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Доан Нгок Ши
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ngocsynd@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук. А.Н. Цветков

Аннотация. В статье рассмотрены основные принципы построения систем автоматического сбора и мониторинга данных, определена структура сети сбора, управления и мониторинга, рассмотрен состав основных узлов, рассмотрены алгоритмы определения остаточного ресурса оборудования с возможностью перехода на обслуживание по состоянию.

Ключевые слова: сбор информации, контроль, дистанционное управление, мониторинг данных, передача информации, системы электроснабжения.

Электроснабжение – это отрасль, тесно связанная с национальной экономикой, развивающаяся параллельно с ростом секторов экономики, повышением производительности труда. Передача и распределение электроэнергии имеют большое значение в плане обеспечения стабильного снабжения и качества электроэнергии для потребителей в постоянно меняющихся условиях эксплуатации и стремлении продлить время работы оборудования. Кроме того, стремительное развитие промышленной революции 4.0 требует модернизации систем электропитания и превращения их в интеллектуальное производство, основанное на революционных достижениях в области технологий управления производственными процессами. Для достижения вышеуказанной цели необходимо внедрять систему автоматизации и мониторинга, управления и защиты подстанций, питающих и распределительных линий электропередачи.

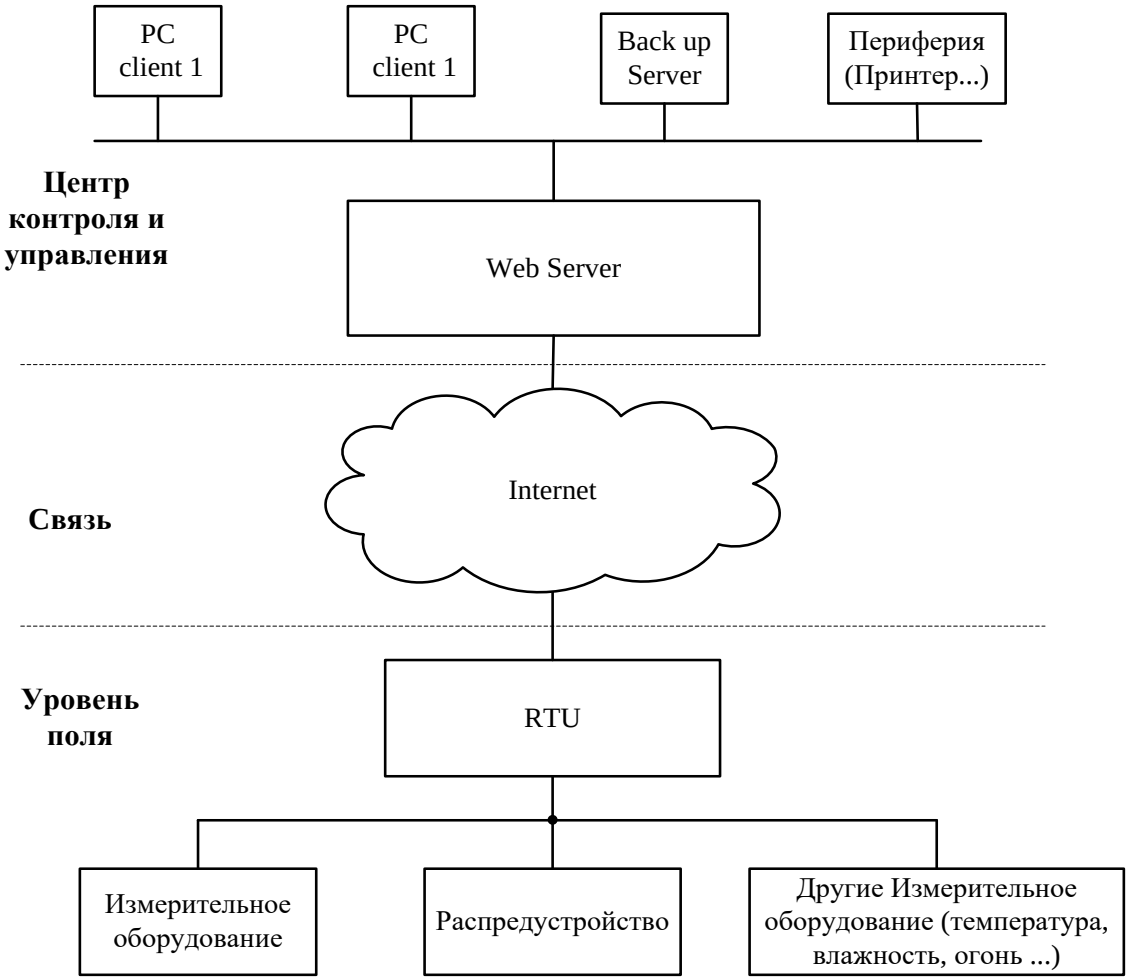


Схема системы сбора данных, контроля, мониторинга системы электроснабжения

Работа в данном направлении сосредоточена на построении комплекса моделей системы электроснабжения и внедрении систем автоматизации. Система автоматического сбора и мониторинга данных (текущие параметры, напряжение, ток, мощность, коэффициент мощности и другие), позволяет контролировать состояние распределительного устройства и осуществлять дистанционное управление переключением в режиме реального времени. Этот результат поможет повысить надежность электроснабжения, улучшить качество электроэнергии, обеспечить безопасность, сократить количество обслуживающего персонала и определить точные потери в каждый момент времени или потери в течение определенного периода времени на любом участке сети.

Структурная схема системы может быть описана диаграммой, показанной на рисунке. Вся система при этом делится на три уровня, каждый из которых выполняет отведенную ему роль.

Верхний уровень – это уровень центрального сервера. На данном уровне осуществляется сбор и обработка данных, анализ состояния системы электроснабжения и расчет состояния системы в будущем. Совокупность данных систем с реализованными алгоритмами управления образуют центр контроля и управления.

Средний уровень – это связь, включающая в себя каналы передачи информации (беспроводные и проводные).

Нижний – уровень поля. На данном уровне находятся подстанции и системы распределения электроэнергии, здесь осуществляется управление, мониторинг и контроль. На данном уровне в систему электроснабжения внедряются измерительные датчики и исполнительные механизмы.

В частности, главная станция включает в себя сервер данных, сервер резервного копирования, монитор, принтер и периферийные устройства.

Условия беспроводной радиосвязи для некоторых распределительных подстанций, имеют ограниченный радиус управления, поэтому они часто используют интернет-связь (проводную) или, если есть возможность, то связь на стандарте GSM.

Полевой уровень состоит из датчиков, измерительных элементов (трансформатор тока, трансформатор напряжения, счетчик реактивной мощности, измеритель реактивной мощности) и коммутационных элементов (выключатели, выключатели нагрузки, разъединители с электрическим приводом).

Специфические функции каждого уровня следующие:

– уровень поля: позволяет не только собирать данные (измерение параметров, определение состояние устройства) и передавать их в центр,

но и получать команды от центра для реализации переключений и управления системой распределения электроэнергии. Кроме того, система может автоматически работать в соответствии с ранее установленной управляющей программой с заданием алгоритмов работы и временных интервалов, что стало возможным благодаря широкому внедрению микроконтроллеров с простой логикой. В целом, система автоматического сбора и мониторинга данных повышает свою эффективность за счет ограниченной автономности каждого из уровней. Это особенно важно в случае возникновения временных аварий на уровне связи:

– связь: использование среды передачи по проводному каналу с подключением к сети Ethernet с двумя протоколами связи http и mqtt для удовлетворения требований стабильной передачи с высоким уровнем безопасности и защищенности каналов, что является немаловажной задачей в современной ситуации управления предприятием;

– центр контроля и управления: мониторинг параметров, получаемых с уровня поля, позволяющий настраивать и управлять распределительными устройствами; выполнять другие функции, такие как хранение статистики, предупреждения, определение остаточного ресурса, расчет будущего состояния систем.

Внедрение в систему контроля алгоритмов, позволяющих проводить диагностику, накопление эксплуатационных данных оборудования и рассчитывать остаточный ресурс элементов системы электроснабжения, позволяет, в процессе эксплуатации перейти на систему обслуживания по состоянию и отказаться от планово-предупредительных ремонтов, что дает значительное сокращение стоимости обслуживания и продление срока службы.

В ходе процесса исследования была рассмотрена система автоматического сбора и мониторинга данных, которая введена для эксплуатационных испытаний на одном из участков системы электроснабжения (г. Намдинь, Вьетнам). После периода испытаний система выполнила предъявляемые к ней требования, помогая операторам контролировать параметры сети, легко настраивать диаграммы нагрузки, дистанционно управлять системой распределения электроэнергии, своевременно обнаруживать, аварийные участки и предаварийные состояния элементов системы для определения способов возобновления питания потребителей.

Разработка и внедрение в технологический процесс моделей системы сбора, обработки данных, контроля и мониторинга электрической сети, определения аварийных и предаварийных состояний элементов и расчета

текущего остаточного ресурса помогают повысить надежность электроснабжения, улучшить качество электроэнергии, повысить безопасность, сократить время сбоев питания потребителей (уменьшить индекс SAIDI и SAIFI), а также повысить экономическую эффективность в эксплуатации электроустановок.

Источники

1. Батенина В.М., Бушуева В.В., Воропая Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21. М.: ИЦ «Энергия», 2017. 584 с.
2. Proakis J.G. Digital Communications. McGraw-Hill, 1995. 170 p.

УДК 620.178.5:621.313.333

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Р. Закирова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
azaliaumidigi@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук М.Ф. Низамиев

Аннотация. Разработан и создан измерительно-диагностический комплекс и программное обеспечение для бесконтактного измерения и анализа параметров вибрации электротехнических установок.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, измерительно-диагностический комплекс, лазерный виброметр, спектр, программное обеспечение.

Систему электроснабжения образует большое количество устройств, продолжительная эксплуатация которых без своевременного диагностирования приводит к их выходу из строя и большому экономическому ущербу.

Основополагающим и наиболее актуальным направлением в области эксплуатации двигателей в наше время остаётся задача повышения надежности эксплуатируемого оборудования по средствам своевременной комплексной оценки состояния узлов. Наиболее инновационным и быстроразвивающимся методом технической диагностики является метод вибрационной диагностики, он позволяет обнаружить дефекты на ранней стадии их развития. Наиболее важным устройством в машине является двигатель, от производительности его работы зависит много эксплуатационных факторов. Для своевременной диагностики дефектов

предложен комплекс, основой которого является персональный компьютер со специальным программным обеспечением, он позволяет дать предварительную оценку состояния механизмов двигателя, основываясь на параметрах вибрационного сигнала.

К ведущим методам вибродиагностики, используемым для мониторинга и своевременной диагностики электрических машин, относятся: анализ общего уровня вибрации, метод ударных импульсов, анализ частотных сигналов, а также метод спектрального анализа.

Наиболее простым в применении на крупных производствах является метод измерения общего уровня вибрации. Его суть заключается в том, что в широких частотных диапазонах измеряются среднеквадратичные, а в некоторых случаях пиковые значения виброускорения механических колебаний.

Для получения достоверных измерений вибрационных сигналов при проведении измерений на вращающемся оборудовании необходимо установить датчики в соответствии с правилами их установки, а также применять приборы-спектроанализаторы, которые также должны отвечать определённым требованиям.

В ходе анализа наиболее известными и широко представленными на рынке сборщиками-спектроанализаторами поступающей вибрационной информации являются: «ПР-200А» (НТЦ «Приз», г. Москва), «Кварц» и «Топаз» (ООО «Диамех», г. Москва), «СК-2300» (ИТЦ «Оргтехдиагностика», г. Москва), «СД-11» (АО «ВАСТ», г. Санкт-Петербург).

Каждая система для измерения вибрационных сигналов электрических двигателей использует контактные датчики вибрации, которые обладают существенными недостатками. К таким недостаткам можно отнести:

1. Большую неравномерность амплитудно-частотных характеристик (АЧХ).

2. Разные амплитудно-частотные характеристики у некоторых датчиков одного и того же типа.

3. В режиме «снял – поставил» наблюдается повторяемость сигнала при установке на одно и то же устройство, что приводит к конечному большому интервалу между результатами вычислений, следствием этого становится недостоверность результатов диагностики.

4. Так имеется механический контакт «двигатель – датчик», то это приводит к появлению вторичных «ложных» сигналов, которые своим воздействием перекрывают основной сигнал и тем самым уменьшают достоверность результатов диагностики.

5. Для получения достоверных значений частоты необходимо надежно закреплять датчик стальной шпилькой, поэтому необходимо высверливать в поверхности объекта отверстие и метчиком нарезать соответствующую резьбу.

6. Одним из основополагающих условий для сохранения широкого рабочего частотного диапазона является ровность и гладкость поверхности исследуемого объекта как на месте крепления датчика, так и вблизи места его крепления.

7. Рабочий температурный диапазон датчиков ограничен предельной температурой.

8. Так как датчик имеет свою массу, то добавленная им масса изменяет динамические характеристики исследуемого объекта.

9. Также датчики со временем нуждаются в периодической калибровке.

Этих недостатков лишены лазерные доплеровские виброметры, а иногда именно они являются единственно приемлемым вариантом для измерений параметров вибрации.

Лазерная виброметрия является актуальным, усовершенствованным методом для измерения параметров механических колебаний. Уникальность лазерных методов определяет их неоспоримые достоинства по сравнению с другими методами, а именно: возможность измерения вибрации бесконтактным путём, отсутствие влияния на резонансные свойства объектов, возможность диагностирования даже микроскопических деталей, проведение измерений без предварительной подготовки поверхности объекта, возможность работы с оборудованием повышенной опасности, измерение параметров вибрации объектов сложной формы.

Для проведения бесконтактного контроля технического состояния асинхронного двигателя был разработан измерительно-диагностический комплекс (рис. 1), состоящий из:

– лазерного виброметра;

– многофункционального модуля ввода-вывода;

– программного обеспечения (ПО);

– персонального компьютера (ПК) [2, 3].

Лазерный виброметр путём регистрирования колебаний и преобразования их в электрический сигнал, пропорциональный виброскорости исследуемого объекта, затем поступает на универсальный модуль ввода-вывода, где сигнал оцифровывается и передается на персональный компьютер с установленным специальным программным обеспечением.

Рис. 1. Схема измерительно-диагностического комплекса: 1 – лазерный виброметр; 2 – согласующее устройство; 3 – универсальный модуль ввода-вывода; 4 – персональный компьютер; 5 – программное обеспечение; 6 – объект исследования

Оцифрованный сигнал, полученный от универсального модуля ввода-вывода, преобразовывается в амплитудный спектр с использованием процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ) и анализируется с помощью программного обеспечения, установленного на ПК. Функциями программного обеспечения является управление измерительной системой и анализ измеренных данных, а именно: отображает на экране измеренные спектры, передаточные функции, и визуализирует форму колебаний.

Принятый сигнал с датчика синхронно записывается в виде амплитудно-частотного спектра с последующим сохранением и дальнейшим анализом принятых сигналов. Дальнейший анализ полученных сигналов проводится с применением специализированных экспертных программ [4].

В ходе использования данного измерительно-диагностического комплекса был проведён ряд предварительных исследований и были сняты сигналы с исследуемого двигателя, предварительные результаты представлены в виде спектра (рис. 2). В ходе сравнения можно заметить разницу между спектром эталонного значения и усреднённым спектром, на частоте 50–60 Гц заметен явный скачок амплитуды, что говорит об имеющихся дефектах.

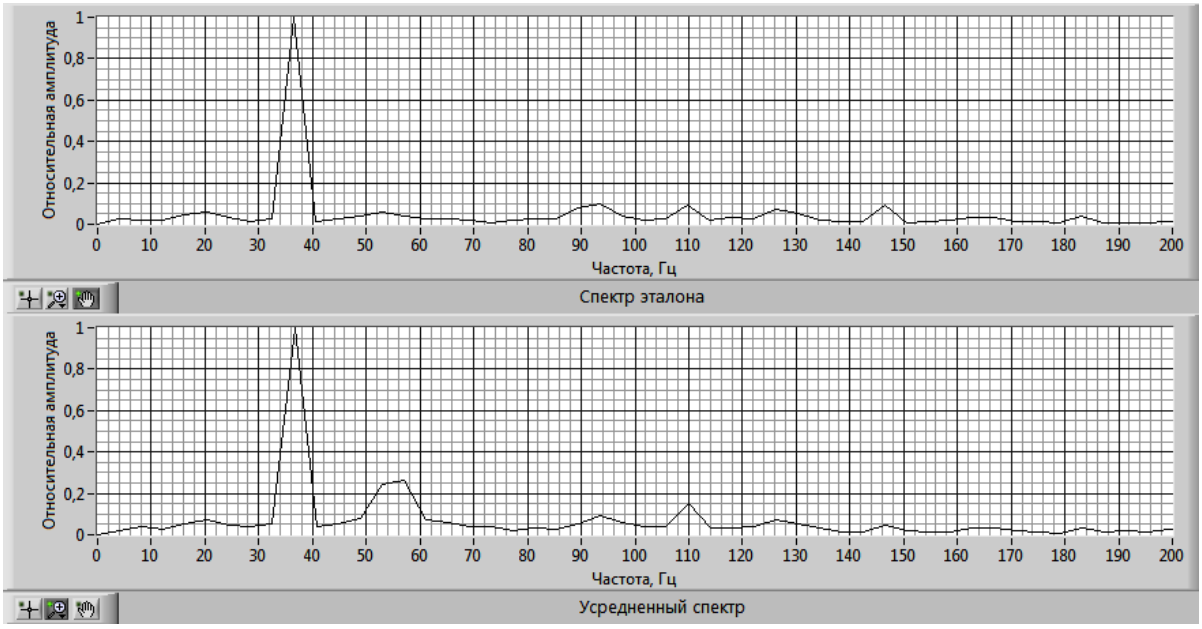


Рис. 2. Результаты предварительных исследований

Использование данного метода и комплекса позволяет, на наш взгляд, производить более качественную, затрагивающую многие аспекты диагностику механизмов электрического двигателя как на начальном этапе проверки, так и на заключительном для проверки качества выполненных ремонтно-технических работ по обслуживанию двигателя с применением прикладных экспертных программ.

Источники

1. Брюль и Къер. Пьезоэлектрические акселерометры и предусилители. Справочник по теории эксплуатации. Нэрум, 1978. 111 с.

2. Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 3-4. С. 109–114.

3. Низамиев М.Ф., Ившин И.В., Владимиров О.В. Контроль технического состояния газового двигателя внутреннего сгорания с применением лазерных виброметров // Вестник Казан. гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. 2014. № 3. С. 24–28.

4. Корчуганова М.А., Сырбаков А.П. Контроль технического состояния мобильных машин по вибрационным параметрам // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3. С. 92–100.

УДК 681.5

АНАЛИЗ УМНЫХ РОЗЕТОК, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ И В БЫТУ

А.Х. Калайджян
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
230997TEMA@mail.ru
Науч. рук. Ш.Р. Хасанов

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные типы умных розеток и способы их использования на производстве и в быту. Выделяются и описываются характерные особенности различных типов умных розеток и произведён их сравнительный анализ. На основании сравнительного анализа был сделан вывод о наиболее выгодном для использования типе умных розеток. Проведён эксперимент использования умной розетки для реверсивного пуска асинхронного двигателя. Целью эксперимента было исследование возможности внедрения умных розеток в производственный процесс. На основании эксперимента автор приходит к выводу, что умные розетки можно внедрить для модернизации технологического процесса на производстве. Данная проблема мало изучена и требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: умная розетка, умная GSM розетка, умная Wi-Fi розетка, радиоуправляемая умная розетка, сравнительная характеристика, реверсивный пуск асинхронного двигателя.

В современном мире большое внимание уделяется вопросам автоматизации процессов, происходящих в квартире. В 2015 году инженерами из института города Фраугофер (Германия) были разработаны умные розетки – уникальные устройства, с помощью которых можно дистанционно управлять любым электроприбором в вашей квартире. Забыли выключить утюг? Хотите, чтобы при поездке на дачу зимой зайти в уже отопленное помещение? Умная розетка поможет вам решить эти проблемы, ведь ими можно управлять, находясь даже за сотни километров от дома.

Помимо коммутации электроприборов, умные розетки в зависимости от модели способны выполнять и другие функции:

– контроль параметров электроприбора (мощность, температура и т.п.);

– автоматическое отключение электроприборов при коротком замыкании, скачках напряжения, перегреве подключённого устройства;

– включение/отключение приборов в определённое владельцем время (таймер включения/отключения);

– отключение подачи напряжения в случае полной зарядки устройства (к примеру, телефона);

– охранная функция (включение света в определённое время для создания иллюзии присутствия человека в помещении);

– противопожарная функция (фиксация перепада температуры, загазованности помещения);

– информирование пользователя об отключении энергии, аварийном обесточивании приборов;

– программирование офисной техники (роутеров, серверов) на определённый режим работы;

– экономия электроэнергии.

Как устроена умная розетка? В её конструкцию входят два элемента – контроллер и электромагнитное реле. Контроллер получает сигналы, которые передаёт электромагнитному реле. Электромагнитное реле отвечает за коммутацию электроприборов. Управление умными розетками осуществляется через мобильное приложение на смартфоне или с помощью пульта дистанционного управления (ДУ). Посредством SMS-сообщений, Wi-Fi сети смартфон соединяется с умной розеткой. Контроллер принимает сигнал и подаёт команду на электромагнитное реле, которое включает или отключает питание электроприбора.

Умные розетки классифицируются по конструкции, мощности передаваемой нагрузки, типу сигнала. В зависимости от конструкции умные розетки могут быть наружные и встраиваемые. Наружные умные розетки подключаются к обычным розеткам, а электроприборы, соответственно, – к ним. То есть, наружные умные розетки – это переходник между обычной розеткой и электроприбором. Встраиваемые умные розетки – приборы, монтаж которых происходит в подрозетники с последующим подключением к системе электроснабжения помещения.

Мощность умных розеток варьируется в пределах 2–3,5 кВт, что позволяет подключать большинство бытовых электроприборов.

В зависимости от передаваемого сигнала умные розетки делятся на:

– умная розетка GSM;

– радиоуправляемая умная розетка;

– умная розетка Wi-Fi.

Рассмотрим каждый вид умных розеток отдельно, затем сравним их.

Умная розетка GSM была изобретена самой первой среди остальных. Первые GSM-розетки управлялись только при помощи SMS-команд. В розетку вставляется sim-карта, номер карты заносится в телефон, и по шаблонам сообщений ею управляют с помощью телефона. Многие современные модели позволяют управлять GSM-розетками с помощью интернета, через специальное приложение.

Конструкция GSM-розеток содержит электронную плату с модулем GSM, слот для sim-карты, внешний аккумулятор (для оповещения

владельца об отключении электричества). На корпусе расположены кнопки и световые индикаторы.

Данный тип умных розеток отличается от других большим количеством дополнительных возможностей и функций. Функционал GSM-розеток определяется конкретной моделью. Многие GSM-розетки оснащаются датчиками температуры, датчиками открытия дверей, внешним микрофоном, настраиваемым таймером, функцией включения/отключения прибора в определённое время суток.

Модели GSM управляются на любом расстоянии, главное – наличие мобильной сети. Однако у умных GSM-розеток есть ряд недостатков: высокая цена (самые дорогие среди умных розеток), громоздкость, зависимость от мобильной и интернет связи.

Радиоуправляемая умная розетка. Данный тип розетки содержит 2 основных элемента: пульт дистанционного управления (ДУ) и саму розетку. Пульт питается от батареек, розетка питается от сети. Источником сигнала является пульт ДУ. Он передаёт сигнал приёмнику розетки, и розетка выполняет соответствующую команду. Сигнал воспринимается розеткой на расстоянии 30–40 метров. Сигнал способен проникать сквозь стены.

С помощью радиоуправляемых розеток можно контролировать наружное освещение, открывать двери, окна, гараж (не тратясь на автоматизированные комплексы для гаражных ворот), дистанционно управлять электроприборами.

Преимуществами радиоуправляемых розеток являются:

– мгновенный приём сигнала;

– возможность автоматической перезагрузки в случае сбоя программы;

– быстрое подключение к электрической сети;

– низкая стоимость;

– возможность управления несколькими устройствами с 1 пульта;

– стойкость к помехам.

К недостаткам радиоуправляемых розеток относят:

– возможно ложное срабатывание на включение/отключение контролируемых электроприборов;

– ограниченный радиус действия;

– невозможность использования в медучреждениях, поскольку есть риск воздействия радиосигналов на работу кардиостимуляторов;

– ослабление сигнала при прохождении через металлические конструкции.

Умные Wi-Fi розетки. Наиболее современным типом умных розеток являются Wi-Fi розетки. Управление ими осуществляется через Wi-Fi. Также некоторыми моделями можно управлять с помощью SMS или интернета. Устройство Wi-Fi розетки предполагает наличие корпуса из термопластика, светового индикатора, кнопки включения/отключения, модуля Wi-Fi, заземления. Некоторые модели оснащены запасными аккумуляторами, чтобы при аварийном отключении электроэнергии уведомить об этом пользователя.

Принцип действия Wi-Fi розетки основан на использовании сети Wi-Fi-802.11 b/g/n частотой 2,4 Гц. Розетка соединяется с маршрутизатором и получает свой IP. Затем на смартфон устанавливается приложение и с его помощью можно управлять розеткой. Для беспроводного управления, помимо смартфона, можно использовать ноутбук, планшет или ПК.

Wi-Fi розетка способна выполнять следующие функции:

– дистанционное включение/отключение электроприборов;

– контроль потребления приборами электроэнергии;

– перезагрузка бытовой техники;

– управление приборами по расписанию (с помощью таймера);

– обеспечение пожаробезопасности (с помощью датчиков температуры).

К одной управляющей розетке можно подключить множество зависимых розеток. Так можно полностью автоматизировать управление техникой в помещении.

Основным преимуществом Wi-Fi розетки является управление электроприборами на любом расстоянии. Даже если вы находитесь вдали от дома, зайдя в интернет, вы можете управлять электроприборами, если Wi-Fi розетка имеет связь с Wi-Fi роутером.

К недостаткам относят следующее:

– при отключении электроэнергии происходит сброс настроек;

– несовместимость некоторых моделей Wi-Fi розеток с роутерами;

– при отсутствии Wi-Fi соединения Wi-Fi розетка не функционирует;

– Wi-Fi розетка подключается лишь к 1 роутеру.

Сравнительная характеристика умных розеток

Для сравнения выберем GSM-розетку Waytronic iTimer II, радиоуправляемую розетку Alloyseed Wireless Switch Socket и Wi-Fi розетку Broadlink SP3. Сравнительная характеристика умных розеток приведена в таблице.

Сравнительная характеристика умных розеток

Название	Broadlink SP3	Waytronic iTimer II	Alloyseed Wireless Switch Socket
Тип управления	Wi-Fi	GSM	Пульт ДУ
Функции	– управление электроприборами из любого места; – управление электроприборами по таймеру; – экономия электроэнергии (отключение подачи питания при полной зарядке устройства)	– управление электроприборами из любого места; – обладает функциями термостата; – удалённая перезагрузка компьютера или сервера	–дистанционное управление электроприборами
Стоимость, руб./шт.	960	3200	340
Максимальная нагрузка, Вт	3500	2200	1200
Варианты управления розеткой	– телефон – ноутбук – планшет – вручную	–по звонку с телефона – по SMS – по таймеру – вручную	– пульт ДУ – вручную
Диапазон действия	На любом расстоянии	На любом расстоянии	30–40 м
Дополнительное оборудование	Wi-Fi роутер	Sim-карта	–

Сравнив 3 модели умных розеток, приходим к такому выводу: Wi-Fi розетки являются наиболее выгодным вариантом для использования. При сравнительно небольшой стоимости они обладают большим функционалом, управляются с множества устройств, имеют большую мощность нагрузки, что позволяет контролировать большее количество электроприборов.

Варианты применения умных розеток. Вариантов использования умных розеток в быту очень много. Перечислим основные из них:

– обогрев помещений. К умной розетке подключается электрообогреватель. За несколько часов до приезда в неотапливаемое помещение подаётся сигнал умной розетке на включение обогревателя, и по приезду помещение становится теплым. В некоторых моделях умных розеток есть датчик температуры, так что можно выставить комфортное значение температуры, которое должно поддерживаться в помещении. Также нужно знать, на какую мощность рассчитан подключаемый обогреватель. Превышение мощности обогревателя над максимальной нагрузкой умной розетки может привести к поломке умного элемента.

– полив сада/огорода. Нет желания или возможности приехать на дачу и полить огород? Не беда, умные розетки помогут вам в этом. Подключив к умной розетке насос, мы можем поливать огород в любое время. А задавшись таймером, можно поливать в определённое время каждый день;

– перезагрузка аппаратуры. Часто бывает, что на даче зависает Wi-Fi роутер, или на работе зависает сервер. Умная розетка способна выполнить перезагрузку указанной аппаратуры, и она снова будет стабильно работать;

– системы охлаждения. К умной розетке можно подключить кондиционер, и с помощью датчика температуры настроить комфортную температуру для помещения. Также с помощью умных розеток можно контролировать окна, открывая их для проветривания помещений.

– система противопожарной безопасности. С помощью умной розетки можно контролировать температуру, давление и влажность помещений, а также их загазованность. Такие розетки можно применять и на производстве, ведь там зачастую указанные выше параметры могут превышать допустимое значение.

Реверсивный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Умные розетки применяются в основном в быту. Но возможно ли использование умных розеток в производстве?

Для ответа на этот вопрос проведём практический опыт. В данной работе мы будем использовать умные розетки для реверсивного пуска асинхронного двигателя. Для эксперимента используем Wi-Fi розетки марки Broadlink SP3.

Реверс двигателя осуществлялся путём перемещения местами двух фаз. При этом нужна блокировка, которая не даёт включиться второму пускателю, пока работает первый. При нажатии на кнопку включения 1 Wi-Fi розетки подаётся напряжение на катушку КМ1 пускателя и пускатель срабатывает. Силовыми контактами включается двигатель. Блокировка пускателя КМ2 осуществляется нормально замкнутым контактом КМ1. Для осуществления реверса мы отключаем Wi-Fi розетку XS1. Затем включаем Wi-Fi розетку XS2, подаём напряжение на катушку КМ2. Пускатель КМ2 срабатывает и двигатель вращается в противоположном направлении. Нормально замкнутый контакт КМ2 размыкается и блокирует катушку магнитного пускателя КМ1. Таким образом, мы осуществили реверс.

Умные розетки способны решить множество задач. Они пригодны как в быту, так и на производстве. Благодаря умным розеткам, мы можем не беспокоиться о безопасности нашего дома. С помощью умных розеток

можно контролировать многие электроприборы простым нажатием кнопок. Умные розетки значительно облегчат жизнь людям с ограниченными возможностями. Развитие умных розеток продолжается и по сей день.

Источники

1. Богданов С.В. Умный дом. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Наука и техника, 2005. 208 с.
2. Елена Тесля. Умный дом своими руками. СПб., 2008. 370 с.
3. Мясоедов А.И. Как работает Wi-Fi розетка и в чём её преимущества [Электронный ресурс] // СамЭлектрик: энциклопедия домашнего мастерства. URL: https://samelectrik.ru/kak-rabotaet-wi-fi-rozetka-i-v-chem-ee-preimushhestva.html (дата обращения: 05.04.2019).
4. Мясоедов А.И. Что такое GSM розетка // СамЭлектрик: энциклопедия домашнего мастерства [Электронный ресурс]. URL: https://samelectrik.ru/chto-takoe-gsm-rozetka.html (дата обращения: 05.04.2019).

УДК 621.313.1

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Д.С. Кочина
НГТУ, г. Нижний Новгород
dashera2009@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.А. Севостьянов;
канд. техн. наук Р.Ш. Бедретдинов

Аннотация. Статья посвящена разработке имитационной модели интеллектуальной электрической сети напряжением 10/0,4 кВ с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Модель реализована в программной среде PSCAD. Представлены однолинейная схема электрической сети с ВИЭ и ее схема замещения. Исходными данными является информация о технических параметрах элементов, входящих в состав ИЭС. Разработанная имитационная модель предназначена для исследования влияния ВИЭ на показатели качества электрической энергии в зависимости от длины линии, соотношения линейной и нелинейной нагрузки, мощности ВИЭ.

Ключевые слова: имитационная модель, интеллектуальная электрическая сеть, возобновляемые источники энергии, показатели качества электроэнергии

Одним из требований, предъявляемых к Интеллектуальным электрическим сетям (ИЭС), является обеспечение доступности для

потребителей электрической энергии, которая заключается в применении как централизованной, так и распределенной генерации электрической энергии, обеспечивающей доступ к присоединению всех пользователей электрической сети. В частности, интеллектуальная сеть должна быть доступной для источников возобновляемой энергии и для эффективных локальных источников генерации. Данный подход способствует уменьшению дефицита электрической энергии, повышению надежности сетевой инфраструктуры, а также повышению эффективности электроснабжения потребителей.

Повсеместное внедрение ИЭС требует учета многих факторов, в частности, влияния элементов сети на качество электроснабжения потребителей. Такие исследования можно проводить на реально действующих или экспериментальных установках. Однако указанные подходы имеют недостатки. Ввиду высокой стоимости проведения эксперимента в реальной сети и больших временных затрат на обработку полученных данных может быть использовано имитационное моделирование. Для исследования электромагнитной совместимости генерирующих установок на основе возобновляемой энергии в программном комплексе *PSCAD/EMTDC* разработана имитационная модель ИЭС.

PSCAD (Power Systems CAD) представляет собой мощный и гибкий графический пользовательский интерфейс для моделирования электроэнергетической сети. *PSCAD* позволяет пользователю построить схему, запустить моделирование, провести анализ результатов, управлять данными в полностью интегрированной графической среде. *On-line* функции редактирования и управления позволяют изменить параметры системы и просматривать результаты исследования во время выполнения моделирования. Более того в *PSCAD* уже есть элементы, необходимые при моделировании: источники энергии, силовые трансформаторы, линии электропередачи, электрические нагрузки, средства измерений. Наличие большого количества стандартных блоков облегчает разработку имитационных моделей ИЭС практически любой сложности. Интерфейс *PSCAD* позволяет создавать схемы в однолинейном или многолинейном исполнении, исследовать различные режимы работы.

Целью работы является разработка имитационной модели ИЭС для исследования влияния ее элементов на качество электрической энергии.

Исходными данными для моделирования СЭС потребителей являются: напряжение источника питания, номинальные мощности генераторов, силовых трансформаторов, электрической нагрузки, протяженность и сечение линий электропередачи (рис. 1, таблица).

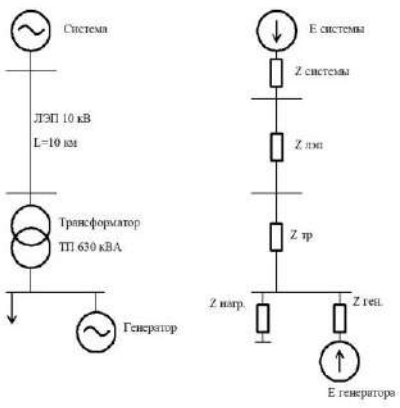


Рис. 1. Схемы для моделирования ИЭС: а) однолинейная схема электрической сети; б) схема замещения электрической сети

Исходные данные моделируемых элементов ИЭС

Параметр	Значение
Генератор	
Тип генератора	СГДМ-11-40-6У2
Мощность генератора, кВА	325
Частота вращения, об./мин	1000
Линия электропередач	
Длина ЛЭП, км	10
Марка провода ЛЭП и сечение	АС-25
Индуктивное сопротивление, Ом/км	1,15
Активное сопротивление, Ом/км	0,3203
Силовой трансформатор	
Номинальная мощность, кВА	630
Напряжение короткого замыкания, %	5,5
Потери короткого замыкания, кВт	7,6
Потери холостого хода, кВт	1,16
Ток холостого хода, %	0,8

Для оценки влияния установок ВИЭ на показатели качества электроэнергии приняты следующие допущения:

1) в качестве источника питания со стороны системы принят источник бесконечной мощности;

2) активная проводимость изоляции электрической сети незначительна и поэтому не учитывается;

3) удельные (погонные) параметры электрической сети во времени неизменны;

4) нелинейность и процесс насыщения силового трансформатора пренебрегается.

С помощью разработанной имитационной модели программными средствами многократно моделируется процесс работы ВИЭ в составе

ИЭС, и по полученным результатам определяются искомые статистические характеристики этого процесса.

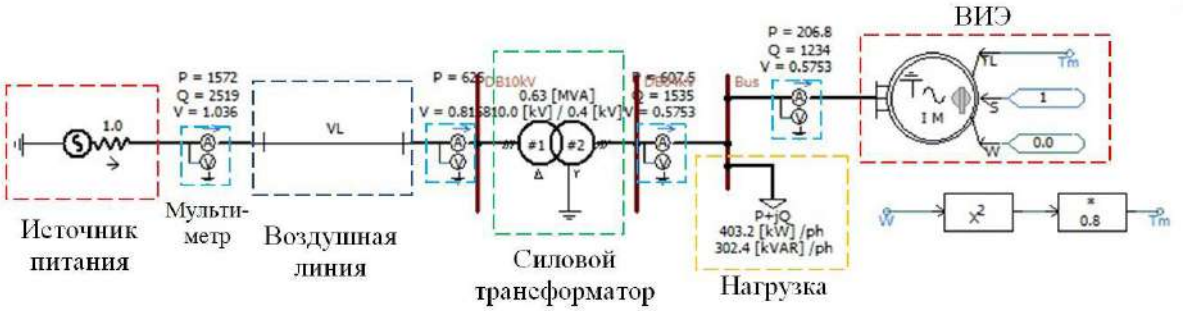


Рис. 2. Модель ИЭС напряжением 10/0,4 кВ

Таким образом, представленная имитационная модель является базовой для проведения дальнейших исследований. Имитационная модель ИЭС с ВИЭ позволяет:

1) исследовать влияние ВИЭ на показатели качества электроэнергии (отклонение, несимметрия, несинусоидальность, колебания напряжения);

2) получить зависимости отклонения напряжения от длины линии, мощности нагрузки, соотношения мощности нагрузки и мощности ВИЭ, от мощности ВИЭ;

3) получить зависимости несинусоидальности напряжения от сопротивления сети, соотношения мощности нагрузки и мощности ВИЭ, от соотношения мощности линейной и нелинейной нагрузки;

4) получить зависимости несимметрии напряжения в зависимости от наличия дополнительного источника энергии и его мощности;

5) произвести сравнительный анализ теоретических расчетов показателей качества электрической энергии и результатов, полученных при имитационном моделировании;

6) дать оценку влияния ВИЭ на ИЭС, анализируя соответствие полученных значений показателей качества электрической энергии требованиям ГОСТ 32144-2013.

Источники

1. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. М.: Изд. центр «Академия», 2010. 224 с.

2. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Электронный ресурс]: утв. постановлением Правительства от 15 апреля 2014 г. № 321 (ред. от 30 марта 2018 г. № 371). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 27.05.2018).

3. Ерцкина Д.А. К вопросу об интеллектуальных электрических сетях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 3, № 13. С. 36–38.

4. Электромагнитная совместимость потребителей: монография / И.В. Жежеленко [и др.]. М.: Машиностроение, 2012. 351 с.

5. Концепция интеллектуальной энергетической системы России с активно-адаптивной сетью / под ред. акад. РАН В.Е. Фортова, А.А. Макарова. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 238 с.

6. Ляпунов А.И., Газе Д.Д., Федоряка Л.И. Интеллектуальные электрические сети. Smart Grid // Advanced Science: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2017. Ч. 1. С. 77–80.

7. Национальный проект «Интеллектуальная энергетическая система России» [Электронный ресурс] // Минпромторг России. М., 2015. URL: http://budget.minpromtorg.gov.ru/citizens/post/project/natsional-nyy-proyekt-intellektual-naya-energeticheskaya-sistema-rossii (дата обращения: 27.05.2018).

8. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» [Электронный ресурс]: утв. Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 22 февраля 2017 г. № 252). URL: https://www.mrsk-ural.ru/public/upload/content/files/2019/tech_policy2019.pdf (дата обращения: 27.05.2018).

9. Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш. Основные направления развития интеллектуальных электрических сетей на основе адаптивного управления // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2012. № 5. С. 25–28.

10. Филатов Д.А., Терентьев П.В. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетике сельского хозяйства. Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. 116 с.

11. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: https://minenergo.gov.ru/node/1026 (дата обращения: 27.05.2018).

УДК 628.971

КОМПЛЕКС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МЕР В РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Ю.С. Лапшина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
yulia-lap@mail.ru
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Н.В. Денисова

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы экономии затрат на электроэнергию при эксплуатации уличного освещения.

Ключевые слова: энергосбережение, энергетические ресурсы, солнечная энергия, фотомодуль, фотореле, уличное освещение.

Современные проблемы энергоэффективного освещения многогранны и имеют широкий спектр. Их решением сейчас занимается большое количество фирм и организаций, работающих в области светотехники. И это действительно актуально, поскольку дефицит энергии становится проблемой все большего числа российских городов. В условиях энергетического и мирового экономического кризиса актуально звучат слова известного писателя-фантаста Артура Кларка: «В качестве единой мировой валюты будет киловатт-час». Россия к этому приближается весьма быстрыми темпами. По статистике, 20 % общего расхода электроэнергии приходится на освещение. При учете факта непрерывного роста цен на электроэнергию, развитие инновационных технологий для увеличения энергоэффективности уличного освещения становится все более актуальной.

Значительную долю энергопотребления современных городов составляют затраты энергии на освещение. К ним относятся:

– освещение помещений;

– освещение улиц города;

– архитектурное освещение городских объектов;

– световая реклама.

Если затраты помещений и жилых домов можно регулировать и уменьшать путем отключения света в пустых помещениях, то уличное освещение должно работать всегда. Это увеличивает затраты усложняет способы экономии на таком освещении.

Уличные светильники используются для освещения дорог, дворов, тротуаров, общественных мест, автостоянок. Иногда уличные светильники используют для освещения фасадов зданий, для рекламного освещения. Основное назначение уличных светильников – обеспечение безопасности перемещения пешеходов, велосипедистов и транспорта.

Можно выделить несколько главных проблем в уличном освещении крупных городов:

– малоэффективные источники света;

– непродуктивное размещение осветительных приборов;

– световое загрязнение.

К решению данных проблем необходим системный подход, заключающийся в проработке технических и экономических вопросов внедрения новых высокоэффективных источников света, полного и гибкого управления системами освещения.

Одним из аспектов, связанных с вопросами энергосбережения, является модернизация уличного освещения. При использовании современных технологий существует реальная возможность сокращения издержек на энергетические ресурсы, модернизации инфраструктуры и оборудования, повышения квалификации сотрудников жилищно-коммунального и энергетического комплексов.

Одним из способов экономии затрат на электроэнергию при эксплуатации уличного освещения является использование солнечных батарей, датчиков движения и фотореле.

Использование солнечной энергии является преимуществом системы уличного освещения. В систему уличного освещения с помощью солнечных батарей входят: светильник, работающий на светодиодах; несколько солнечных батарей; контроллер регулирования заряда аккумулятора и включения - выключения системы; аккумулятор для подачи электроэнергии на светодиоды с последующей его подзарядкой от солнечной батареи; защитный шкаф для аккумулятора и контроллера; регулируемые крепления для фотомодулей. Установленные датчики освещенности дают команду контроллеру для включения света в темное время суток и выключения его днем. Автономная работа системы позволяет рационально использовать энергию аккумулятора. После отключения фонаря в дневное время аккумулятор переходит на накопление энергии. Эта система требует значительных затрат только на стадии проектирования и установки, но экономична в дальнейшем использовании [1].

К недостаткам можно отнести то, что использование слишком ярких светодиодов может пагубно влиять на здоровье людей и дезориентировать пролетающих мимо птиц. Для этого предлагается использовать светодиоды меньшей мощности, либо комбинировать их с газоразрядными лампами.

Преимущества использования системы освещения на солнечных батареях следующие:

– экономия электроэнергии за счет использования возобновляемого источника энергии;

– не требует значительных затрат в процессе эксплуатации;

– простота монтажа, не потребуется прокладка линий передач;

– экологичность и безопасность при эксплуатации и утилизации;

– долговечность, минимальный срок службы определяется самым «недолговечным» элементом – аккумулятором, он прослужит порядка 10–15 лет. Солнечная батарея «проживет» около 25–30 лет, а светодиодные лампы – около 27 лет.

Такие системы очень выгодны для городского электрохозяйства в отличие от систем освещения, получающих электроэнергию, вырабатываемую электростанциями. Поэтому внедрение систем уличного освещения на солнечных батареях в больших масштабах может привести к значительному энергосбережению [2].

В системе уличного освещения можно дополнительно использовать управление энергопотреблением с помощью фотореле и датчиков движения. Фотореле включает нагрузку при снижении уровня освещенности ниже установленного порога и отключает ее при увеличении яркости света. В этих приборах предусмотрена регулировка порогов срабатывания системы, называемая чувствительностью фотореле. Датчики движения отключают большую часть светильников (2/3), когда на улицах отсутствует движение, не позволяя полностью погрузить город в темноту [3].

Преимущества такой системы:

– применение фотореле позволяет ощутимо сэкономить средства для автоматизации уличного освещения;

– удобство управления осветительными приборами, включение фотореле в схему управления приводит к продлению эксплуатационного ресурса светильников;

– датчики движения фиксируют малейшие перемещения физического объекта, оказавшегося в зоне его контроля, и своим срабатыванием активируют включение светильника (лампы).

Недостатки таких систем следующие:

– значительные затраты при установке;

– большие пусковые токи.

Рассмотрев предлагаемые системы, можно сделать вывод, что использование таких систем позволит рационально использовать топливно-энергетические ресурсы и снизить затраты на электроэнергию. Это позволит оптимизировать бюджеты городов и сократить издержки.

Источники

1. Осветительные установки промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2вп016. 206 с.

2. Модернизация систем уличного освещения [Электронный ресурс] // Энергосовет. 2009. № 1 (1). С. 17. URL: http://www.energosovet.ru/bul/1_2009.pdf (дата обращения: 24.01.2019).

3. Комиссаров Р., Петров И. Уличное освещение: территория проблем [Электронный ресурс] // Электротехнический рынок. 2013. № 3

(51). С. 32–34. URL: https://www.yumpu.com/ru/document/view/57060565/-no3-51-2013- (дата обращения: 24.01.2019).

УДК 658.26

ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО-, ТЕПЛО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЯ, ИНТЕГРАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И СРЕДСТВА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ

В.А. Манахов[1], Г.Р. Алиев[2], О.А. Матвеев[3]
[1,2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань
[1,2,3]matveev14085@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук В.В. Максимов

Аннотация. Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) России сегодня представляет собой совокупность динамически развивающихся отраслей. По своим масштабам ТЭК России является крупнейшим в мире и оказывает существенное влияние на экономический сектор страны. Поэтому заинтересованность государства, потребителей, энергетических, сбытовых и добывающих компаний в инновациях в данном секторе очевидна. В качестве ключевых характеристик, определяющих состояние систем электро-, тепло- и газоснабжения, мы выделили доступность, надежность, экономичность, эффективность, органичность взаимодействия с окружающей средой и безопасность этих систем. Выбор таких критериев не случайный, он продиктован современными требованиями, предъявляемыми к ТЭК, что позволяет сформулировать основные причины зарождения и актуальность развития интеллектуальных систем электро-, тепло- и газоснабжения, интеграции различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации.

Ключевые слова: Smart Grid, распределённая генерация, энергоснабжение, энергоэффективность, топливно-энергетический комплекс.

Вызов в виде неуклонно растущего спроса на электроэнергию для ТЭК не является новым. Но проблема отставания темпов наращивания энергетических мощностей от темпов роста энергопотребления сегодня встает все острее. Покрытие растущего уровня электропотребления ведёт к необходимости модернизации региональных электростанций и создания дополнительной сетевой инфраструктуры, связанной с увеличением трансформаторных мощностей и пропускной способности ЛЭП. Но такое решение проблемы на данном этапе носит ограниченный характер, и применяется преимущественно в мегаполисах и крупных городах по техническим и финансовым причинам.

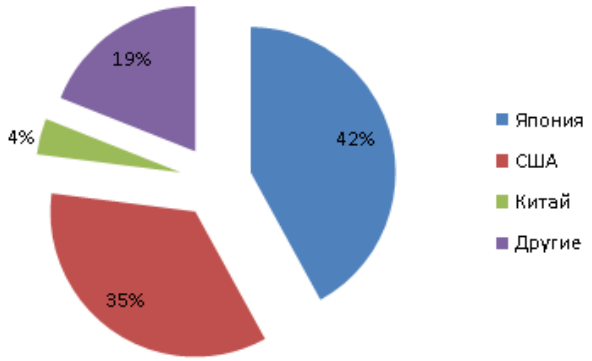
Примерами технологий, позволяющих провести «интеллектуализацию» электроэнергетики, являются управляемые устройства

компенсации реактивной мощности, реакторные группы, статические тиристорные компенсаторы (СТАТКОМ), преобразователи вида тока, фазоповоротные устройства, накопители электрической энергии и т.д. Многие из этих устройств успешно внедрены на территории России, например ФСК ЕЭС России, и находятся в эксплуатации.

Для передачи электроэнергии по сетям высокого напряжения внедряются самокоммутирующиеся конвертеры VSC (Voltage-Sourced Converter). Технология передачи постоянного тока высокого напряжения, использующая преобразователи VSC (с питанием от источника напряжения), является относительно новой, поскольку она использует биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ). Основными компаниями, продвигающими технологию HVDC VSC, являются ABB и Siemens. Эта технология называется в ABB технологией «HVDC light», а компания Siemens использует для нее наименование «HVDC Plus».

Интеграция в мировые энергосистемы генерирующих мощностей на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) невозможна без развития технологий накопления энергии. В настоящее время на рынке доминируют накопители электроэнергии на базе литий-ионных батарей, благодаря их малому весу и высокой плотности накапливаемой энергии. Ярким примером взрывного роста в производстве аккумуляторов стал знаменитый завод Tesla. Также среди лидеров отрасли – LG Chem, Samsung SDI, BYD, Contemporary Amperex Technology. По оценке Bloomberg New Energy Finance (BNEF) Contemporary.

Amperex в скором времени станет крупнейшим производителем литий-ионных аккумуляторов в мире.



Географическое распределение мощности установленных накопителей энергии

Применяются накопители электроэнергии и для регулирования режимов в энергосистеме – сетевые накопители электроэнергии (СНЭ). На рисунке приведено географическое распределение мощности установленных накопителей энергии.

Компанией Ewe Gasspeicher GmbH создаётся аккумуляторная батарея Brine4power, которая будет самой большой и мощной в мире. В батарее Brine4power используются водно-солевые электролиты с активным полимерным наполнителем, который менее вреден для окружающей среды, чем материалы, использующиеся в других типах потоковых окислительно-восстановительных аккумуляторных батарей. Данная батарея будет занимать две природные подземные полости, которые сейчас используются для хранения природного газа. Каждая из полостей имеет объем около 100 000 $м^3$, что даст потоковую емкость батареи до 700 МВт·ч при мощности 120 МВт. Пуск в эксплуатацию намечен на 2023 год. В газоснабжении, как и в других отраслях ТЭК, для повышения эффективности внедряются технологии интеграции различных видов энергоресурсов, среди которых следует выделить:

– использование тепла отходящих газов компрессорных станций (ООО «Газпром трансгаз Югорск»);

– использование турбодетандеров на газораспределительных станциях (ООО «Газпром трансгаз Чайковский»);

– применение мобильных компрессорных станций для сохранения объемов газа при проведении ремонтных работ;

– использование автономных энергоустановок для энерго-обеспечения удаленных объектов.

Наряду с интеллектуальными технологиями, характерными для конкретных отраслей ТЭК, есть и такие, которые применяются во всех системах энергоснабжения. Например, широко являются распространенным инструментом дистанционного мониторинга состояния оборудования. SCADA-система – это программно-аппаратный комплекс сбора данных, которые позволяют осуществлять диспетчерский контроль большого количества удаленных объектов. SCADA собирает данные с объектов и отображает их в едином диспетчерском центре, где за ними наблюдают специалисты. Диспетчер может не только наблюдать, но и управлять при различных ситуациях. SCADA-системы включают три основных структурных компонента: удаленный терминал, диспетчерский пункт управления, коммуникационная система. В целом, можно сказать, что SCADA-системы в режиме реального времени непрерывно собирает, анализирует, хранит информацию и позволяет ею управлять.

Другой общей технологией можно считать смарт-счетчики (интеллектуальные счетчики) энергоресурсов. На сегодняшний день интеллектуальность приборов учета заключается в их способности коммуницировать с различными уровнями системы энергоснабжения в части передачи накопленной информации посредством сетевых

технологий. Но в перспективе такие приборы смогут на основании полученных из разных источников информации осуществлять анализ потребления энергоресурсов, оптимальный выбор тарифа, источника питания, время включения приборов.

Популярность набирают ветро- и солнечные электростанции. Их удобство заключается в том, что для работы не требуется дополнительных видов топлива, быстрый ввод в эксплуатацию и экологичность. Однако существует один недостаток, который имеет большое значение: выработка электроэнергии носит непостоянный и нерегулируемый характер. Поэтому затруднена их работа в энергосистеме. Эта проблема решается совместным использованием ветрогенераторов и солнечных батарей.

С использованием нового технологического оборудования, а также внедрения интеллектуальных систем в сфере накопления электроэнергии повысится маневренность и управляемость передачами энергией, сглаживаются провалы потребления во время неполной загрузки энергосистемы с последующей ее отдачей в систему в моменты пикового потребления. Это способствует уменьшению зависимости генерирующих мощностей от неравномерного потребления, а также улучшает качество производимой энергии и создает возможности для гибкого подключения новых потребителей.

Внедрение объектов малой генерации в зоне децентрализованного энергоснабжения при использовании местных энергоресурсов, а также возобновляемых источников энергии способствует повышению эффективности развития энергосетевого хозяйства. Данные технические мероприятия позволят удовлетворить спрос на энергию и топливо в энергодефицитных регионах, обеспечивая надежное и качественное снабжение, тем самым упрощая энергетическое освоение новых регионов. Энергетика, основанная на возобновляемых источниках энергии, будет развиваться в виде малых гидроэлектростанций, солнечных энергоустановок, геотермальных электростанций и теплоснабжающих установок, биоэнергетических и ветровых установок, мусоросжигающих и мусороперерабатывающих энергокомплексов в крупных городах.

Теплоснабжение, несмотря на высокую значимость, остается достаточно нескоординированной частью топливно-энергетического комплекса. Поэтому производство тепла необходимо развивать на теплоцентралях с уменьшением их роли в теплоснабжении, учитывая современные систем когенерации (газотурбинная установка с котлом-утилизатором) и автономные теплоснабжающие установки. Таким образом, к 2030 году планируется снижение доли тепла, производимого на теплоэлектроцентралях с повышением доли распределенной генерации.

Эту нишу займут газотурбинные установки на теплоэлектроцентралях и автономные установки. Переоснащение газовых котельных, имеющих достаточные тепловые нагрузки, при технико-экономическом обосновании, в ПГУ-ТЭЦ или ГТУ-ТЭЦ с централизацией и резервированием теплосетей и выводом из работы или переводом в пиковый режим мелких котельных. Указанные установки будут выполнять роль как локальных источников энергоснабжения, так и источников покрытия переменной части графика нагрузки, увеличивая тем самым коэффициент использования установленной мощности наиболее мощных энергоустановок.

Таким образом, генерирующие мощности в 2030 году будут состоять из энергоустановок, работающих на передовых технологиях мирового уровня, позволяющих проводить их эффективную эксплуатацию.

Источники

1. Технические науки на службе созидания и прогресса: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: АЭТЕРНА, 2017. 268 с.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: https://minenergo.gov.ru/node/1026 (дата обращения: 27.05.2018).
3. Храмов С. Переоборудование существующих промышленных котельных в мини ТЭЦ [Электронный ресурс] // РосТепло.ру – все о теплоснабжении в России. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=771 (дата обращения: 27.05.2018).

УДК 621.316.933.4

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

А.С. Марусов
ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург
Науч. рук. канд. техн. наук О.Е. Белов

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема создания устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) из-за необходимости поглощения большого количества энергии и направления по созданию таких устройств.

Ключевые слова: система электроснабжения, электромагнитный импульс, перенапряжение, устройство защиты от перенапряжения.

Анализ электромагнитных импульсов, генерируемых современными источниками (взрыво-магнитные генераторы, электромагнитные импульсы ядерного оружия и т.п.), демонстрирует, что перенапряжения, создаваемые на входе электрооборудования, могут достигать значений сотен киловольт, а уровни токов, наводимых от их действия на элементах систем электроснабжения (СЭС) 6(10) кВ, могут составлять 10…50 кА. Продолжительность воздействия импульсов напряжения и тока на уровне 0,5 амплитуды достигает значений до 3…5 мс, а продолжительность воздействия импульсов напряжения и тока на оборудование на уровне 0,1–0,9 амплитуды составляют 0,05…0,5 мкс. Так как такие токи по длительности более чем в десять превосходят длительность токов молнии (обычно ток молнии составляет около 30 кА при длительности 50…350 мкс), для защиты СЭС от импульсов токов и напряжений с данными параметрами необходимо применять специальные аппараты защиты с большой энергоемкостью и повышенной скоростью срабатывания. Анализ существующих средств защиты от мощных электромагнитных импульсов демонстрирует, что сейчас имеется необходимость создания целой номенклатуры средств защиты СЭС, которые могли бы в полной мере удовлетворять этим параметрам.

Главной проблемой создания устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) для систем электроснабжения 6 (10) кВ от действия токов мощных электромагнитных импульсов является необходимость поглощения большого количества энергии. На данный момент существует несколько направлений по созданию УЗИП с повышенной энергоемкостью и скоростью срабатывания. Применяются комбинированные УЗИП на основе металлооксидных резисторов с высоко-нелинейной вольтамперной характеристикой, УЗИП на базе управляемых вакуумных разрядников и УЗИП на основе сверхмощных импульсных кремниевых динисторов:

1. Устройство защиты от импульсных перенапряжений на базе металлооксидных резисторов с высоко-нелинейной вольтамперной характеристикой.

Созданные устройства защиты на базе управляемых вакуумных разрядников являются устройствами защиты коммутирующего типа, однако иногда целесообразно применять устройства защиты, которые постепенно снижают свое полное сопротивление с возрастанием волны тока и напряжения [1].

В зависимости от величины максимального тока, протекающего через УЗИП, могут применяться различные варианты их исполнения (количество параллельных ветвей варисторов).

Разработанные УЗИП ограничивающего типа на 6…10 кВ имеют пропускную способность по току свыше 10 кА.

Ввиду того, что для надежной комплексной защиты системы автономного электроснабжения 6 (10) кВ от электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения применение отдельных средства защиты, соответствующих различным формам и уровням воздействующих токов и напряжений, может оказаться нецелесообразным, предпринимаются попытки по созданию универсального устройства на базе рассмотренных ранее устройств и их отдельных элементов.

В результате таких попыток было предложено трехступенчатое устройство защиты от импульсных перенапряжений.

Оно состоит из 3-х однофазных устройств защиты, смонтированных на выкатной тележке типового силового шкафа. Принцип работы данного устройства комбинированный. Оно содержит элементы ограничивающего и коммутирующего типов, которые могут ограничивать и коммутировать напряжение, а также сочетать в себе обе функции; их действие будет зависеть от характеристик воздействующего импульса напряжения и тока.

Защитные функции данного УЗИП выполняются в 4 этапа:

– защита от наносекундного импульса обеспечивается с помощью фильтра нижних частот, состоящего из дополнительной линейной индуктивности и паразитной электрической емкости блока мощных нелинейных резисторов;

– защита от грозовых импульсов (длительностью импульсов до 50 мкс) обеспечивается набором нелинейных резисторов, при этом перенапряжение ограничивается до допустимого уровня – 27 кВ;

– защита от коммутационных импульсов и мощных импульсов от источников преднамеренного воздействия (длительностью импульсов до 5 мс) обеспечивается вакуумным разрядником со схемой его запуска, при этом ограничение перенапряжения обеспечивается путем закорачивания фазы электрической цепи. При этом избыточная мощность проходит через устройство защиты;

– восстановление всех защитных функций УЗИП по окончанию воздействия.

Разработанное устройство позволяет обеспечить комплексную защиту системы автономного электроснабжения 6 (10) кВ от воздействия токов и напряжений, наводимых на элементах СЭС мощными

электромагнитными импульсами естественного (включая молниевые и коммутационные перенапряжения) и искусственного происхождения (токи свыше 50 кА и перенапряжения, с длительностью фронта на входах устройств на уровне 0,1–0,9 амплитуды 0,05…0,5 мкс, а длительность импульсов напряжения и тока на уровне 0,5 амплитуды достигает значений до 3…5 мс) и может применяться на различного рода объектах.

2. Устройство защиты от импульсных перенапряжений на базе управляемого вакуумного разрядника.

Основным элементом комбинированного УЗИП является вакуумный разрядник, который представляет собой безнакальный трехэлектродный герметизированный прибор с давлением остаточных газов не превышающим 104 Па. Включение его осуществляется при подаче пускового импульса напряжения на управляющий электрод. Управляющий импульс напряжения вызывает пробой по поверхности диэлектрической вставки узла поджига и генерацию инициирующего искрового разряда. Плазма заполняет вакуумный промежуток, разряд переходит из искровой стадии в дуговую и разрядник включается [2].

Вакуумные коммутирующие устройства могут сравниться по электрической прочности с газовыми разрядниками высокого давления. Но они имеют значительно меньший межэлектродный зазор, что позволяет существенно уменьшить габариты устройства и обладают более высокой скоростью восстановления электрической прочности. Разработанные устройства на 6…10 кВ имеют пропускную способность по току до 50…70 кА.

3. Устройство защиты от импульсных перенапряжений на базе сверхмощных импульсных кремниевых динисторов.

Динисторный узел является главным силовым защитным элементом ячейки. Он состоит из сверхмощного интегрального динистора и специального высоковольтного, сильнотокового, быстро восстанавливающего лавинного диода, которые собраны последовательно в едином герметичном металлокерамическом таблеточном корпусе. Основная структура прибора – тиристорная. Тиристор при этом играет роль управляемого коммутатора токов высокой амплитуды. Транзисторный (трехслойный) ограничитель, интегрированный в структуру прибора, осуществляет роль быстродействующего ограничителя напряжения [3].

Данное устройство относится к устройствам защиты коммутирующего типа и способно пропускать токи с амплитудой до 50 кА.

Таким образом, разработан достаточно широкий спектр технических устройств, применение которых позволит обеспечить защиту элементов систем электроснабжения 6(10) кВ от высокоэнергетических перенапряжений.

Источники

1. Алферов Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А. Управляемые вакуумные разрядники: основные свойства и применение // Электро. 2002. № 2. С. 31–37.

2. Сурма А.М. Состояние и перспективы развития силовых полупроводниковых приборов для преобразовательных устройств // Электричество. 2006. № 9. С. 21–32.

3. Защита электрооборудования от перенапряжений / В.А. Алмазов [и др.] // Прикладная физика. 2001. № 5. С. 74–76.

УДК 537.315.6

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Р.В. Мотренко
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
r.motrenko@mail.ru
Науч. рук. канд. физ. мат. наук Н.В. Денисова

Аннотация. В практическом использовании предприятиями установок компенсации реактивной мощности часто встречается проблема выхода из строя конденсаторных батарей. Причины подобных инцидентов обычно списываются на заводскую неисправность, но мало, кто принимает во внимание качество электроэнергии от источника питания до электроприемника. Использование современных устройств, в состав которых входят нелинейные выходные цепи (источники бесперебойного питания, преобразователи частоты и т.д.), являются источниками высших гармоник. Искажение синусоиды сети приводит к изменению частоты. В свою очередь частота сети влияет на сопротивление конденсаторов. Изменение сопротивления в меньшую сторону приводит к увеличению тока и, соответственно, к нагреву устройства. Так же изменение сопротивления конденсатора может привести к гармоническому резонансу сети. Таким образом, использование установок компенсации реактивной мощности с конденсаторными батареями, требует особого внимания.

Ключевые слова: влияние гармоник, конденсаторные батареи, частота сети.

Система энергоменеджмента современных предприятий стремится поддерживать значение коэффициента мощности на максимально возможном уровне. Для решения этой задачи прибегают к использованию установок компенсации реактивной мощности, основанных на конденсаторных батареях. В практическом использовании такой метод повышения коэффициента мощности несет дополнительные проблемы, связанные с усложнением схемы электроснабжения и дополнительных

рисков изменения качества электроэнергии. Выход из строя конденсаторных батарей влечет за собой повышение тока на вводном распределительном оборудовании и, соответственно, уменьшение напряжения в сети от источника до потребителя. Последствиями этого может быть срабатывание электрических защит, нагрев электрооборудования потребителей, останов электродвигателей, условия по выходу из строя электрооборудования. Причины пробоев в конденсаторах обычно списываются на заводскую неисправность, но мало, кто принимает во внимание качество электроэнергии от источника питания до электроприемника. Во избежание подобных инцидентов следует обратить особое внимание на условия эксплуатации конденсаторов.

Помимо состояния внешней среды эксплуатации установок компенсации реактивной мощности, следует учитывать характер и качество электроэнергии. Одним из многих условий качества электроэнергии является кривая синусоиды напряжения и тока в питающей сети. Развитие производства современных силовых полупроводниковых приборов ведет к возрастающему количеству приборов, управляемых тиристорами, конверторами (инверторами) и др., в работе которых применяется нелинейные полупроводниковые элементы. Твердотельные реле, такие как тиристоры, привнесли существенные изменения в схемотехнику систем контроля, они также создали проблему генерации гармоник тока. Гармоники тока могут сильно влиять на энергоснабжающие сети, а также перегружать косинусные конденсаторы служащие для компенсации реактивной мощности.

Не только твердотельные элементы силовой электроники являются источниками гармоник, однако существует много других источников гармонических токов. Эти источники могут быть сгруппированы в трех основных типах (см. таблицу).

Источники гармонических токов

№ п/п	Наименование устройства	Электрические аппараты
1	Силовое электронное оборудование	Частотные привода переменного тока, привода постоянного тока, источники бесперебойного питания UPS, выпрямители (шестифазные, по схеме Ларионова), конвертеры, тиристорные системы, диодные мосты, плавильные печи высокой частоты
2	Сварочное, дуговое оборудование	Дуговые плавильные печи, сварочные автоматы, освещение (ДРЛ-ртутные лампы, люминесцентные лампы)
3	Насыщаемые устройства	Трансформаторы, двигатели, генераторы, и т.д.

Гармонические амплитуды на насыщаемых устройствах являются обычно незначительными по сравнению с элементами силовой электроники и сварочным оборудованием, при условии, что насыщение не происходит.

Гармоники – это синусоидальные волны, суммирующиеся с фундаментальной (основной) частотой 50 Гц (т.е. частота 1-й гармоники равна 50 Гц, а 5-й гармоники – 250 Гц). Любая комплексная форма синусоиды может быть разложена на составляющие частоты, таким образом, комплексная синусоида есть сумма определенного числа четных или нечетных гармоник с меньшими или большими величинами.

Разложим форму кривой тока на гармонические составляющие (рис. 1–5).

Гармоники есть продолжительные возмущения или искажения в электрической сети, имеющие различные источники и проявления, такие как импульсы, перекосы фаз, броски и провалы, которые могут быть категорированы как переходные возмущения. Переходные возмущения обычно решаются путем установки подавляющих или разделяющих (изолирующих) устройств, таких как импульсных конденсаторов, изолирующих (разделяющих) трансформаторов. Эти устройства помогают устранить переходные возмущения, но они не помогают устранить гармоники низких порядков или устранить проблемы резонанса в связи с присутствием гармоник в сети.

Согласно закону Ома, величина тока зависит от сопротивления проводника. Емкостное сопротивление конденсаторов вычисляется по формуле:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Так как сопротивление источника энергии является индуктивным, кроме того, комплексное сопротивление сети увеличивается с частотой, в то время как сопротивление конденсатора с ростом частоты уменьшается. Это вызывает рост тока через конденсаторы и оборудование, содержащее их. При определенных обстоятельствах гармонические потоки могут превысить ток фундаментальной гармоники 50 Гц, протекающей через конденсатор. Эти гармонические проблемы могут также вызвать увеличение напряжения на конденсаторе, которое может превысить максимально допустимое значение и привести к пробою конденсатора.

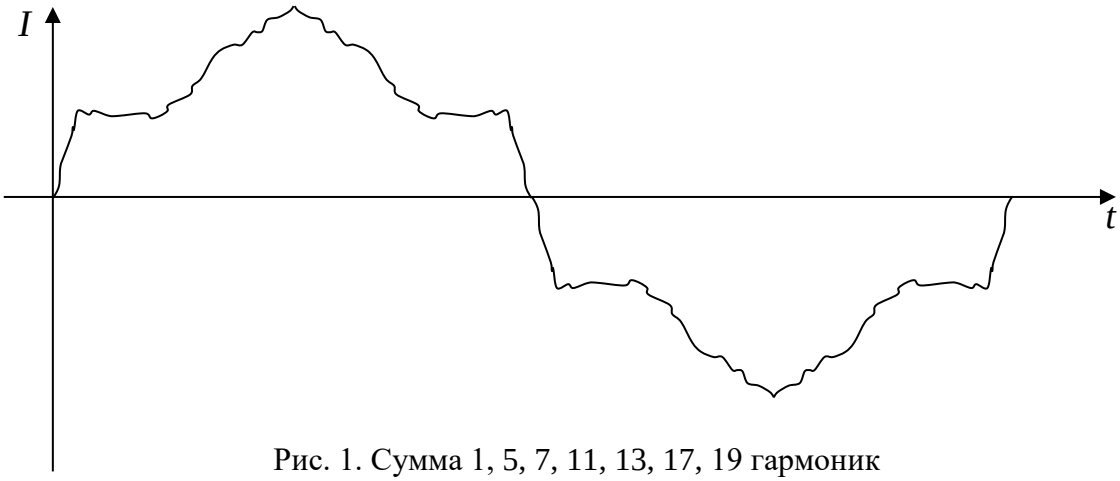


Рис. 1. Сумма 1, 5, 7, 11, 13, 17, 19 гармоник

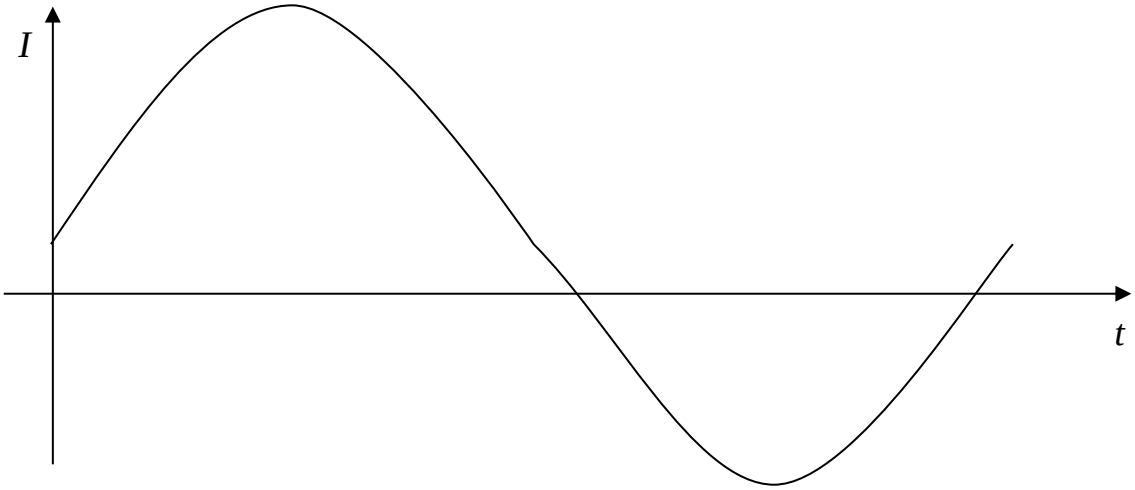


Рис. 2. 1-я гармоника, частота 50 Гц

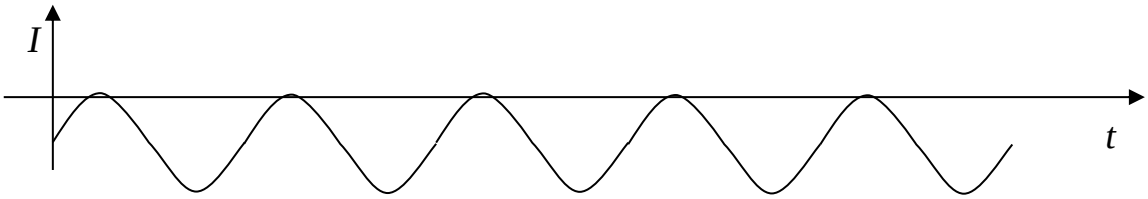


Рис. 3. 5-я гармоника, частота 250 Гц

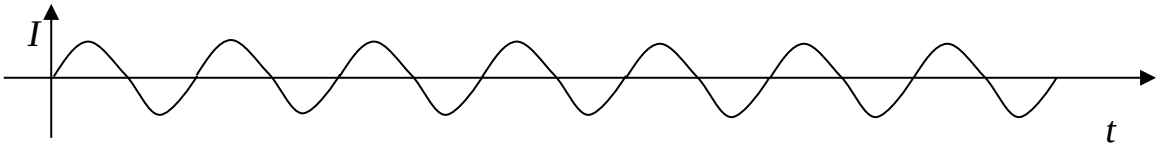


Рис. 4. 7-я гармоника, частота 350 Гц

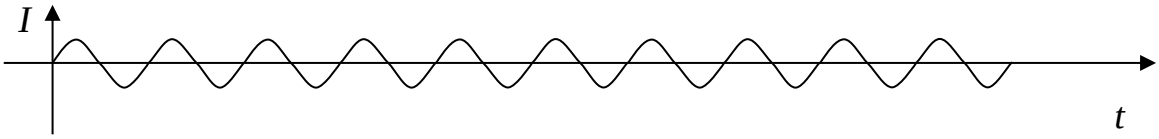


Рис. 5. 11-я гармоника, частота 550 Гц

Наличие в сети высших гармоник может создать условия для явления резонанса. Резонанс возникает при равенстве емкостного и индуктивного реактивных сопротивлений в параллельной или последовательной цепи с нелинейными нагрузками, конденсаторами или индуктивными нагрузками. Так как индуктивное сопротивление источника неизменно, в основном это сопротивление трансформатора:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_k U^2}{100 S_{\text{ном.тр}}}.$$

Следовательно, условие возникновения резонанса будет зависеть от частоты сети:

$$\frac{1}{2\pi f C} = \frac{U_k U^2}{100 S_{\text{ном.тр}}}.$$

Резонанс в параллельной индуктивно-емкостной цепи наступает, когда результирующий ток и напряжение совпадают по фазе. Это происходит при определенном значении частоты, называемой «резонансной частотой». В индуктивно-емкостной цепи, результирующий ток катушки индуктивности (трансформатора) равен току конденсатора, но противоположен ему по знаку, поэтому и алгебраическое, и векторное суммирование дают в результате максимальное значение сопротивления и нулевое значение суммарного тока (в отличие от последовательного соединения). В этих условиях ток в обеих ветвях индуктивно-емкостной цепи будет слишком большим, что очень опасно для конденсатора, поскольку значение его емкостного сопротивления будет наименьшим.

К такому важному вопросу, как установка системы компенсации реактивной мощности, необходимо подойти с максимальной ответственностью. Гарантированный результат может быть получен только при обследовании объекта. Прежде, чем приступать к внедрению конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности на предприятии, необходимо провести всесторонние измерения параметров сети: активную реактивную, полную мощность, величину и уровни гармоник тока и напряжения, провалы и перенапряжения в линии. Все это позволит максимально эффективно использовать имеющиеся средства без риска и проблем.

Источники

1. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О. Григорьев [и др.] // Новости электротехники. 2002. № 6. С. 47–56.

2. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника. 2003. № 6.

3. Шишкин С. Защитные антирезонансные дроссели низковольтных конденсаторных батарей // Силовая электроника. 2007. № 14. С. 18–20.

УДК 621.313

STUDY OF THE LAWS AND ANALYSIS OF CHANGE IN THE RESISTANCE OF THE POWER CIRCUITS OF THE CONTACT SYSTEMS OF LOW-VOLTAGE SWITCHING DEVICES

A.M. Musina
KSPEU, Kazan
miami00800@gmail.com
Scientific adviser Doctor of technical science, a professor Y.I. Gracheva

Abstract. Rational use of electricity in electrical installations is impossible without reliable and high-quality work of switching apparatuses and devices. Some types of low-voltage switching devices, despite to apparent simplicity, represent a very complex technical system, the main requirement for which is the normal operation in accordance with a specific purpose.

Keywords: power circuits, switching devices, magnetic starters, maximum relay coil, thermal relay sensors, resistance.

Analysis and classification of low-voltage switching devices by design features.

Some types of low-voltage switching devices, despite to apparent simplicity, represent a very complex technical system, the main requirement for which is the normal operation in accordance with a specific purpose [1, 7]. The general position that determines the functional suitability of the apparatus implies the satisfaction in the course of its operation of pre-established and well-defined criterion requirements [5, 9], and in terms of content and rigidity, they can vary greatly depending on the type of apparatus, modes and conditions of its operation.

The results of experimental studies of low-voltage switching devices used in the shop networks of industrial power supply, first presented in [4], showed that the design features of the devices can be divided on the next 3 groups:

– devices, except for having power contacts in the power circuit additional elements (sensors thermal relay, relay coils maximum), such as circuit breakers, magnetic starters, contactors;

– devices with relatively high resistance in the power circuit, such as fuses;

– devices with contact resistance only, such as knife switches, packet switches.

The methodology of the experiment to determine the resistance contact connections of switching devices.

The intensive development of low-voltage machine building is currently due to the introduction of new capacities at industrial enterprises, an increase in the number of small and medium-sized enterprises.

Expand the scope of application of devices and tougher requirements for them. However, not all the technical parameters of the devices are listed in the passport data. In particular, the resistance of the power circuit of the apparatus is not always indicated, there are also no requirements or state standards for the resistance of electrical apparatus. To study the magnitude of the resistance of contact connections, the ammeter-voltmeter method is used [10, 11], which consists in that a constant or rectified current is passed through the contacts of the apparatus in the on state and the current and voltage drop are measured on the contacts of the device. The equivalent resistance of the apparatus may depend on a number of values, such as the type of current (alternating or constant), on the value of this current and the time of its effect.

In order to choose the method of experimental determination of the resistance of the power circuit of the apparatus, preliminary studies were conducted on the influence of the above factors.

The results of experimental data, first presented in our work, show that the resistance of the power circuit of the device varies depending on the current, the type of current and the time it flows within ± 5 %, i.e. within the engineering accuracy of measurements and scatter parameters.

Experimental studies have shown that the main resistance of the power circuit of the apparatus includes the resistance of such elements as the contact group, the sensor of the thermal relay, the coil of the maximum relay. The resistance of the bolted connections of the apparatus is a small fraction of the total resistance of the switching apparatus [4]. Despite the fact that in GOST for specific types of apparatuses it is required to indicate the value of electrical resistance, but such data are not given in GOST for low-voltage electrical apparatus.

Determination of the dependence of the resistance of power circuits.

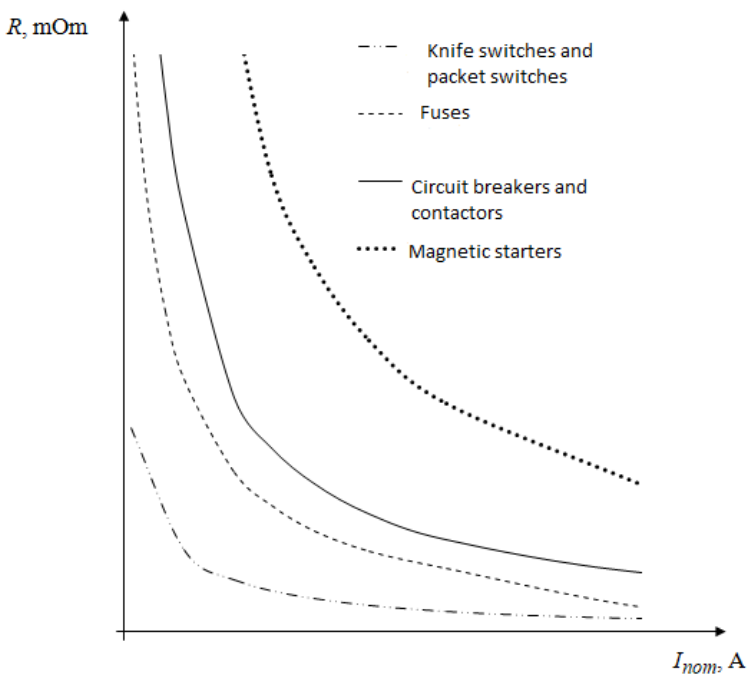
Contact systems of apparatuses from their nominal parameters.

Since in the reference literature there is no information on the resistances of most low-voltage switching devices (and the data presented are very approximate), the problem arises of studying the laws of changes in the resistances of contact connections of various groups of apparatuses. To solve this problem, we measured the resistance of the power circuits of the apparatus by the method of ammeter-voltmeter.

Studies have shown that the measurement results practically do not depend on the amount of current flowing through the contacts during testing [6, 11].

In figure graphs of the dependences of the resistances of the apparatus on the rated current, first shown in our experiments [2, 12]. These dependencies are close to hyperbolic.

Based on the method of least squares [6, 8], which is usually used for processing the results of experiments, according to the measurements obtained in the experiment, it was necessary to reveal the functional relationship between the equivalent resistance of the contact connections of the switching apparatus and the value of the nominal current of the apparatus.



Graphs of the dependencies of the resistance of the apparatus on the rated current

At the same time to carry out experiments suggest dependence $R = A/I_n$.

In the values of measurements [8, 14] surely there are errors. To estimate the coefficient A for each type of apparatus, we use the least squares criterion, i.e., we will look for a functional relationship where the sum of squared deviations between the calculated and measured parameters is minimal:

$$\sum_{i=1}^{N}\left(R_i - \overset{*}{R_i}\right) = \min, \tag{1}$$

where $\overset{*}{R_i}$ – measured resistance; R_i – calculated resistance; N – number of measurements.

In this case, the main properties of the least squares method needed to evaluate the desired ratios are:

1) as a result of the application of the method of least squares, an estimate of the parameters is calculated, which deviates least from measurements in the sense of the minimum of the sum of squares of deviations;

2) when the maximum measurement errors are known in advance, it is possible to reveal significant errors in the measured values;

3) with different amounts of statistical data or with different values, the evaluation results are different;

4) the more statistics, the higher the accuracy of the estimate;

5) with a lack of statistical data, the least squares method may not have a solution.

Before the experiment, the possible maximum measurement error is determined. We assume that all the measurements performed are equally accurate (the weighting factors are 1), the maximum standard deviation of the measured parameters from the true ones does not exceed 0,9, i.e. $\sigma_i \le 0{,}9; \quad i = 1, 2, \ldots, N.$

Research results show that the resistance of devices in operation increases. In this case, for magnetic starters, the critical value of the multiplicity of the initial resistance (of the new device) is 3,2, for circuit breakers and contactors – 2,9, for fuses – 2,7, for packet switches and circuit breakers – 1,8.

In this case, the modes of operation (commutation frequency and the amount of current flowing through the apparatus) have practically no effect on the dynamics of change in the resistance of contact systems.

According to the results of experimental data analysis apparatus according resistances from their nominal currents were first obtained [3, 12] presented in Table 1.

Table 1

Analytical dependence of the resistance of switching devices on the rated current

Apparatus	Rated current I_{nom}, A	Analytical dependence of resistance on rated current
Magnetic starters	< 70	$R = 825/ I_{nom}$
	≥ 70	$R = 760/ I_{nom}$
Circuit breakers and contactors	< 60	$R = 349/ I_{nom}$
	≥ 60	$R = 307/ I_{nom}$
Fuses	< 200	$R = 210/ I_{nom}$
	≥ 200	$R = 125/ I_{nom}$
Knife switches and packet switches	Any value	$R = 68/ I_{nom}$

The reliability of the data obtained is confirmed by the convergence with the independent research results of the scientists E.F. Shcherbakov, L.I. Balter, I.Ye. Shtrikman in their work «On the measurement of active losses in electrical apparatuses» [13].

It has been established that the resistances of different groups of elements of the power circuit of the apparatus obey the general for each group regularities of change, for example, the resistance of bolted connections of connecting the apparatus with a cable makes up a small share in the total resistance of the apparatus, and the main resistance of the apparatus is the resistance of the following elements:

– contact group;

– thermal relay sensor;

– coil maximum relay.

References

1. Buslova N.B., Vinoslavskii V.N., Denisenko T.I. Elektricheskiye sistemy i seti. Kiyev: Vishcha shkola, 1986. 584 p.
2. Gracheva Ye.I. Opredeleniye poter' elektroenergii v nizkovol'tnykh tsekhovykh setyakh promyshlennykh predpriyatiy = Determination of electricity losses in low-voltage shop networks of industrial enterprises: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 1996. 17 p.
3. Gracheva Ye.I., Saitbatalova R.S. Opredeleniye raskhoda elektroenergii na osnove matematicheskoy modeli = Determination of electricity consumption based on the mathematical model // Promyshlennaya energetika. 1999. № 4. Pp. 24–25.
4. Gracheva Ye.I., Naumov O.V. Otsenka velichiny poter' elektroenergii v elektricheskikh setyakh do 1000 V = Estimation of electricity losses in electrical networks up to 1000 V // Problemy energetiki. 2003. № 1-2. Pp. 108–117.
5. Kholodnyy S.D. Metody ispytaniy i diagnostiki kabeley i provodov = Test methods and diagnostic cables and wires. M.: Energoatomizdat, 1991. 200 p.
6. Kozlov V.A. Elektrosnabzheniye gorodov = City power supply. 2-ye izd. L.: Energiya, 1977. 280 p.
7. Mukoseyev Yu.L. Elektrosnabzheniye promyshlennykh predpriyatiy = Power supply of industrial enterprises. M.: Energiya, 1973. 584 p.
8. Plavkiye predokhraniteli = Fuses / K.K. Namitokov [et al.]. M.: Energiya, 1979. 176 p.
9. Orlov V.S. Snizheniye elektropotrebleniya putem regulirovaniya napryazheniya = Power reduction by voltage regulation // Promyshlennaya energetika. 1991.

10. Osnovy kabel'noy tekhniki = Basics of cable technology: uchebnik dlya vuzov / V.M. Leonov [et al.]; pod. red. I.B. Peshkova. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2006.

11. Ostreykovskiy V.A. Teoriya nadezhnosti = Reliability theory: uchebnik dlya vuzov. 2-ye izd., ispr. M.: Vyssh. shk., 2008. 463 p.

12. Shevchenko V.V., Gracheva Ye.I. Opredeleniye poter' elektroenergii v tsekhovykh setyakh napryazheniyem do 1000 V = Determination of electricity losses in shop networks with voltage up to 1000 V // Promyshlennaya energetika. 2001. № 10. Pp. 31–35.

13. Shidlovskiy A.K., Vagin G.Ya., Kurennyy E.G. Raschety elektricheskikh nagruzok sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy = Calculations of electrical loads of power supply systems of industrial enterprises. M.: Energoatomizdat, 1992. 224 p.

14. Tevelevich I.I. Metody opredeleniya poter' energii v elektricheskikh setyakh nizkogo i srednego napryazheniya (gorodov) = Methods for determining energy loss in low and medium voltage electrical networks (cities): avtoref. .

УДК 621.313

COMPARATIVE STUDY OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VALUES OF THE RESISTANCE OF THE CONTACT CONNECTIONS OF LOW-VOLTAGE SWITCHING DEVICES

A.M. Musina
KSPEU, Kazan
miami00800@gmail.com
Scientific adviser Doctor of technical science, a professor Y.I. Gracheva

Abstract. Knowing the resistance of contact joints, one can increase their reliability by choosing a material that meets the specified requirements. One of the methods for determining the resistance of the contact connections of low-voltage apparatuses is to study the dependence of the resistance on the rated current through the power loss to the apparatus pole.

Keywords: switching devices, power loss, circuit breakers, magnetic start-up contactors, ammeter-voltmeter method, switch.

One of the factors that determine the failure-free operation of consumers and systems of internal power supply is the reliable operation of the contacts of low-voltage switching devices [1]. Knowing the resistance of contact joints [3], one can increase their reliability by choosing a material that meets the specified requirements.

One of the methods for determining the resistance of the contact connections of low-voltage apparatuses is to study the dependence of the resistance on the rated current through the power loss to the apparatus pole. The power loss per pole ΔP can be determined from catalog data, as a result of the analysis of which we establish that the dependence of these losses on the rated current for automatic circuit breakers of the BA-57 series can be described by the expression:

$$\Delta P_{pot\ av}(I_n) = 8{,}34\ e^{-0{,}01In} + 0{,}194 I_n, \qquad (1)$$

and for contactors of the KTI series with an approximating function of the form

$$\Delta P_{pot\ cont}(I_n) = 1{,}698\, e^{-0{,}1 I_n} + 0{,}068 I_n. \qquad (2)$$

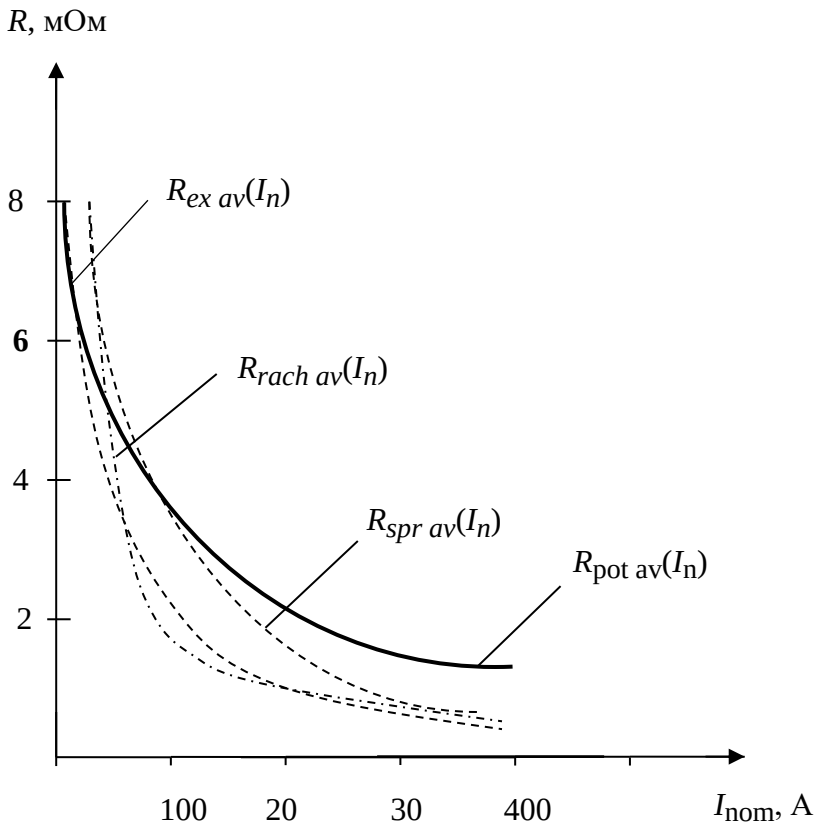


Fig. 1. Dependencies of resistances of contact connections from rated current for circuit breakers VA

Using catalog data, we construct a graph of the resistance of the contact connections of circuit breakers of the VA series to the nominal current - curve

Rpot. Av (In) (fig. 1) and for contactors of the series KTI - curve Rpot cont (In) (fig. 2).

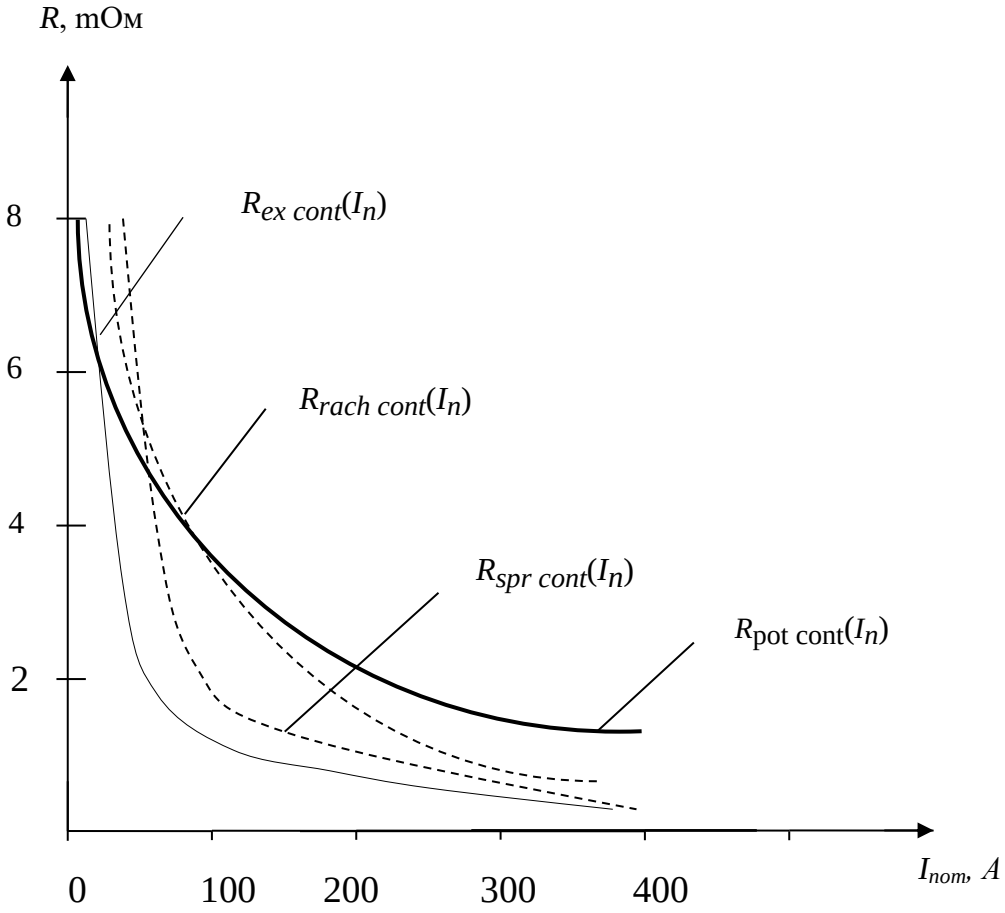


Fig. 2. Graphs of dependencies of the resistance of contact connections on the rated current for contactors KTI

Curves Rexp.av (In) in fig. 1 and Reksp.kont (In) in fig. 2 are experimentally found analytical dependencies of the resistances of circuit breakers and contactors on the rated current:

$$I_{\text{n}} < 60 \text{ A, then } R = \frac{349}{I_{\text{n}}};\ I_{\text{n}} \geq 60 \text{ A, then } R = \frac{307}{I_{\text{n}}},$$

and the curve Rexp.mp (In) in fig. 3 illustrates the analytical dependence of the resistance of magnetic starters on the rated current [247]:

$$I_{\text{n}} < 70 \text{ A, then } R = \frac{825}{I_{\text{n}}};\ I_{\text{n}} \geq 70 \text{ A, then } R = \frac{760}{I_{\text{n}}}.$$

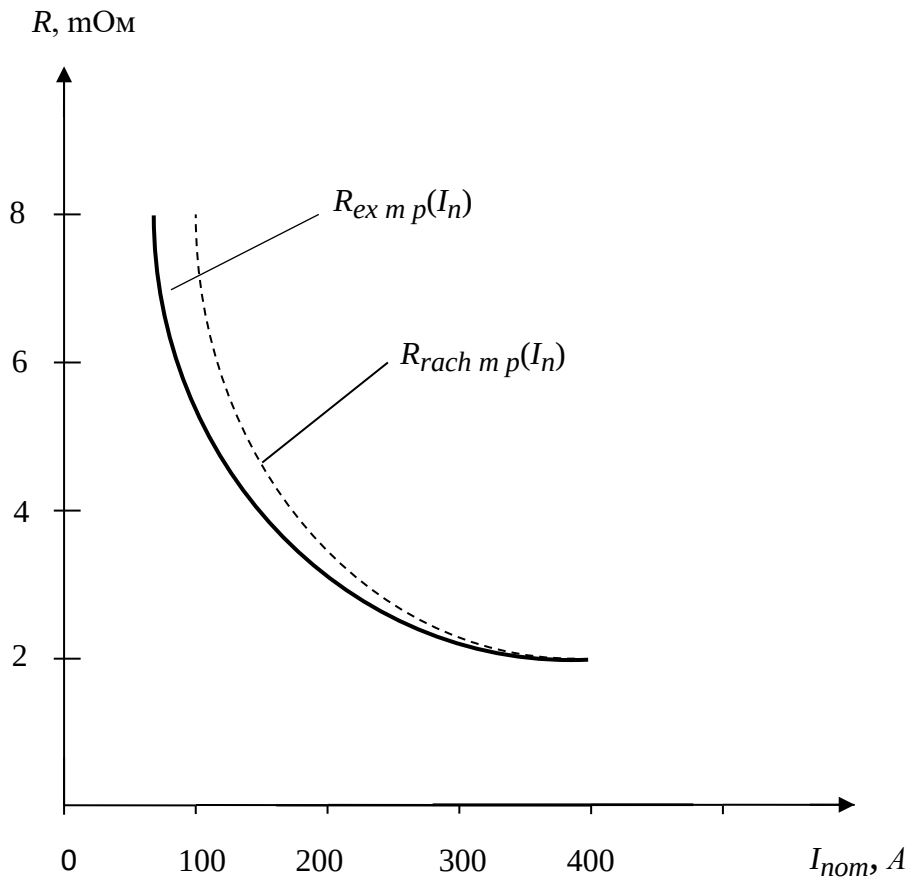


Fig. 3. Plots of dependencies of the resistance of contact connections on the rated current for magnetic starters PML series

Next, we determine the resistance of the contact connections and the temperature of the contact pads of the devices by the calculation method [2].

$$R_{\text{к}} = \frac{2\sqrt{\lambda F k_{\text{т}} S}}{I^2} \cdot \left(\theta_{\text{к}} - \frac{I^2 \rho (1 + \alpha \upsilon_{\text{к}})}{k_{\text{т}} F S} \right) \quad . \tag{3}$$

$$\upsilon_{\text{к}} = \frac{I^2 \cdot \rho + \upsilon_0 \cdot k_{\text{т}} \cdot F \cdot S}{k_{\text{т}} \cdot S \cdot F - I^2 \cdot \rho \cdot \alpha} . \tag{4}$$

The results of the calculations and the types of approximating functions are presented in Table 1 and 2.

To assess the accuracy of the approximating functions describing the dependences of the resistances of the contact connections of low-voltage apparatus using various methods (Table 1), we will calculate the standard deviation of the approximating functions from the experimental values by expression.

$$S = \sqrt{\sum (f(I) - \mathrm{Re}\,x)^2}\ .$$

The results of the calculations are presented in Table 3.

Table 1

The approximating functions of the dependences of the contact resistances on the rated current

Apparatus	Rated current $I_н$, A	Approximation function
Circuit breakers BA series	1 ÷ 80	$R_{rach\ av}(I_n) = 85{,}007 \cdot e^{-0{,}049\ In}$
	80 ÷ 400	$R_{rach\ av}(I_n) = 3{,}248 \cdot e^{-0{,}006\ In}$
	1 ÷ 400	$R_{pot\ av}(I_n) = 9{,}219 \cdot e^{-0{,}018\ In}$
	1 ÷ 400	$R_{spr\ av}(I_n) = 28{,}39 \cdot e^{-0{,}03\ I_n}$
Contactors KTI series	1 ÷ 400	$R_{rach\ cont}(I_n) = 9{,}486 \cdot e^{-0{,}013\ I_n}$
	1 ÷ 400	$R_{potc\ ont}(I_n) = 10{,}628 \cdot e^{-0{,}051\ I_n}$
	1 ÷ 200	$R_{spr\ cont}(I_n) = 10{,}439 \cdot e^{-0{,}00756\ In}$
	200 ÷ 400	$R_{spr\ cont}(I_n) = 1{,}067 \cdot e^{-0{,}00693\ I_n}$
Magnetic starters PML series	1 ÷ 400	$R_{rach\ m\ p}(I_n) = 16{,}531 \cdot e^{-0{,}0092\ I_n}$

Table 2

The results of the calculation of the technical characteristics of the contacts of circuit breakers, contactors and magnetic starters

Apparatus	Rated current $I_н$, A	Contact sizes, мм	Pads temperature $\upsilon_к$, °C	Contact resistance, т$R_к$, mOм
Circuit breaker BA-57-35	16	a = 4, b = 6	40,3	39
Circuit breaker	80	a = 4, b = 8	45,2	1,755
Circuit breaker BA-57-39	400	a = 9,5, b = 9	75,2	0,349
Contactor KTI 5265	250	a = 20, b = 10	43,3	0,746
Contactor KTI 6400	400	a = 20, b = 17	44	0,414
Magnetic switch PME 211	25	r = 4	40,3	26
Magnetic switch PA 312	40	a = 8,1, b = 8,1	40,5	13
Magnetic switch PA 14	60	a = 12, b = 12	40,3	11

Table 3

Estimation of accuracy of approximating functions

Apparatus	Type of addiction	Standard Deviation S
Circuit breakers	Calculated Rrach (In) Supplemental Rspr (In) By power loss Rpot (In)	1,997 1,215 3,323
Contactors	Calculated Rrach (In) Supplemental Rspr (In) By power loss Rpot (In)	1,787 2,168 5,608
Magnetic starters	Calculated Rrach (In)	0,565

Thus, as a result of the research, the possible accuracy and scope of some methods for estimating the resistances of contact connections of low-voltage apparatuses depending on from the available source information.

References

1. Buslova N.B., Vinoslavskii V.N., Denisenko T.I. Elektricheskiye sistemy i seti. Kiyev: Vishcha shkola, 1986. 584 p.
2. Gracheva Ye.I., Lazarevich A.S. Issledovaniye teplofizicheskikh protsessov v zamknutykh kontaktakh nizkovol'tnykh kommutatsionnykh apparatov = Investigation of thermophysical processes in closed contacts of low-voltage switching devices // Problemy energetiki. 2004. № 5-6. Pp. 102–106.
3. Shevchenko V.V., Gracheva Ye.I. Opredeleniye poter' elektroenergii v tsekhovykh setyakh napryazheniyem do 1000 V = Determination of electricity losses in shop networks with voltage up to 1000 V // Promyshlennaya energetika. 2001. № 10. Pp. 33–35.

УДК 621.313.3

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СОСТАВЕ ПРИВОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Т.И. Петров
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
tobac15@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Р. Сафин

Аннотация. В работе предлагается современный метод и разработана программа топологической оптимизации распределения материалов в синхронных электрических машинах с постоянными магнитами.

Ключевые слова: синхронная электрическая машина, топологическая оптимизация, постоянные магниты, генетический алгоритм, энергоэффективность, проектирование.

В работе предлагается современный метод проектирования и оптимизации синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) с использованием генетического алгоритма.

В дополнение к высокой энергоэффективности современные СДПМ имеют чрезвычайно компактную конструкцию. Структура СДПМ делает их значительно меньше и легче, и до 40 % компактнее, чем аналогичные асинхронные двигатели. Они соответствуют типоразмеру, который меньше на два стандартных размера, что создает возможность для более компактной конструкции машины. К тому же СДПМ весит на 50 %, меньше и его инерция на 60 % ниже, чем у аналогичного асинхронного двигателя [1].

За счет высокого коэффициента мощности и к.п.д. СДПМ снижаются потери в системе электроснабжения, растет к.п.д. всей системы (на 5–6 %) по сравнению с применением асинхронных двигателей.

Автор принял участие в разработке алгоритма многокритериальной и топологической оптимизации роторов СДПМ. Предполагалось, что ротор с постоянными магнитами должен иметь несложную конструкцию для простоты изготовления и повышенный вращающий момент по сравнению с базовым образцом.

В данном исследовании спроектирована модернизированная структура ротора с постоянными магнитами. Предлагаемый метод позволяет провести топологическую оптимизацию ротора СДПМ с постоянными магнитами с целью повышения КПД и надежности электрической машины при заданных массо-габаритных показателях.

В настоящее время развивается промышленное изготовление постоянных магнитов (ПМ) с высокими энергетическими показателями. Такие ПМ позволяют создавать в малых объемах большой магнитный поток, позволяя значительно повысить предельные мощности ЭМ [2,3].

Наиболее важными требованиями для СДПМ в приводных механизмах являются:

– высокие динамические показатели;

– высокие энергетические показатели;

– малые габариты и масса.

На начальном этапе проектирования проводиться предварительный электромагнитный расчет для получения начальной геометрии СДПМ. Расчет проводится по известным методикам аналитических расчетов.

Основная задача данного этапа – получение начальных данных об СДПМ, именно, исходной геометрии и предварительных энергетических и динамических показателей.

На данном этапе количество заданных величин минимально, на нем формируется начальная геометрия СДПМ. Результаты расчета или выходные данные – это рабочие характеристики электродвигателя в установившемся режиме, предварительные массогабаритные показатели, размеры статора и ротора.

Далее производится многокритериальная и топологическая оптимизация ротора СДПМ с использованием генетических алгоритмов (ГА).

ГА подходят для задач оптимизации, содержащих большую степень поиска. Область проектирования ротора СДПМ дискретизируется в сетке конечных элементов, а материал нескольких элементов определяется в качестве гена в хромосоме. Метод предполагает использование более двух материалов: воздух, сталь, а также R, X-ориентированные магниты (радиальная и аксиальные намагниченности). Предложено ввести концепцию кластера многих видов материалов в ГА. Если кластер мал, то есть количество ячеек в области меньше или равно целому числу $N_{\min}$, выполняется процедура очистки.

Процедура очистки может удалить небольшой кластер материалов. Поэтому структура, полученная без учета процедуры очистки, содержит множество мелких кусков железа в магните и многочисленные воздушные полости в железе [4].

В программном обеспечении Elcut проведены предварительные расчеты магнитного поля в СДПМ. Отработаны алгоритмы дискретизации области исследования ротора с постоянными магнитами с целью проведения топологической оптимизации.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019610240: «Программа для топологической оптимизации ротора синхронной машины».

Программа предназначена для топологической оптимизации распределения материалов в роторе синхронных вращательных электрических машинах с постоянными магнитами. В программе используется генетический алгоритм в сочетании с группировкой по материалу и процедурой очистки. Предлагаемый процесс компьютерной оптимизации объединяет топологический метод оптимизации конструкции ротора вращательных электрических машинах с постоянными магнитами и метод, учитывающий простоту его изготовления. Для ускорения процесса

оптимизации топологии электрической машины на основе генетического алгоритма реализована концепция параллельных (многопоточных) вычислений.

При написании программы выбрана интегрированная среда разработки Microsoft Visual Basic for Application, в которой доступны широкие возможности для работы с объектной моделью Microsoft Active Field для подключения и автоматизации среды моделирования магнитных полей методом конечных элементов.

Возможный перечень разработок на основе результатов научного исследования:

1. Производство высокоэффективных СДПМ для привода станков-качалок.
2. Производство энергоэффективных электроприводов с улучшенными массо-габаритными характеристиками.
3. Производство синхронных генераторов с постоянными магнитами для альтернативных источников электроэнергии.

Таким образом, разработка новых методов проектирования в области СДПМ станет важным этапом импортозамещения и создания отечественного производства в данном направлении. Результаты научного исследования могут быть использованы для проектирования и создания энергоэффективных синхронных электрических машин для привода и генерации электрической энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160023.

Источники

1. Модель системы управления станком-качалкой на основе синхронных двигателей с бездатчиковым методом / Т.И. Петров [и др.] // Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 7-8. С. 107–116.
2. Kim D.-H., Sykulski J.K., and Lowther D.A. A novel scheme for material updating in source distribution optimization of magnetic devices using sensitivity analysis // IEEE Trans. Magn. 2005. Vol. 41, № 5. Pp. 1752–1755.
3. Topology optimization for compliance reduction of magnetomechanical systems / H. Shim [et al.] // IEEE Trans. Magn. 2008. Vol. 44, № 3. Pp. 346–351.
4. Разработка метода проектирования линейных электрических машин возвратно-поступательного действия на основе топологической оптимизации / А.Р. Сафин [и др.] // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 5. С. 34–39.

УДК 658.26

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

И.А. Саитов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
saitov.igor1995@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Р. Сафин

Аннотация. При проектировании и эксплуатации сложных электрических систем приходится сталкиваться с одним и тем же комплексом проблем, плохо поддающихся решению традиционными методами. Это является причиной создания адаптивных интеллектуальных систем, способных подстраиваться под изменения состояния объекта. В связи с этим в последнее время широко освещаются вопросы решения технических задач с помощью методов искусственного интеллекта: нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов [1].

В работе рассмотрено решение ряда задач, в основу которых положены мероприятия по развитию структуры электрической сети, выбору мест расположения компенсирующих устройств, а также размещение средств регулирования потоков мощности. При этом считается, что к началу проектирования обычно уже определен план ввода генерирующих мощностей, известны нагрузки основных потребителей. Это составляет основную информацию оптимизационной задачи [2].

Для решения всей совокупности перечисленных задач предполагается использование генетических алгоритмов (ГА), а также сравнение с расчетом нелинейного программирования. Поскольку данные задачи являются нелинейными оптимизационными проблемами, причем, как правило, многомерными и мультимодальными, применение эволюционного подхода представляется наиболее эффективным [3].

Моделирование выполнено с помощью пакета прикладных программ среды MATLAB.

Ключевые слова: генетический алгоритм, нелинейное программирование, моделирование, эволюционные алгоритмы, оптимизация, активная мощность, реактивная мощность, компенсирующие устройства.

Задача оптимального развития структуры электрической системы состоит в определении, когда и где необходимо установить новые линии электропередачи, учитывая ряд электрических, экономических, финансовых, социальных и экологических ограничений.

Строго говоря, она имеет динамическую природу, поскольку требования к передаче электрической энергии изменяются с течением времени. Несмотря на это, данная проблема часто упрощается проектировщиками с помощью применения математических моделей для решения этой задачи в статике. Таким образом, оптимизация развития состоит в минимизации издержек на строительство новых ЛЭП с учетом операционных ограничений и соответствия требованиям энергосистемы на

определенный период времени. Эта задача, которая может рассматриваться как многомерная нелинейная дискретная оптимизационная проблема, требует использования генетических алгоритмов, поскольку они позволяют получить лучшее решение по сравнению с классическими оптимизационными методами [4].

В основу алгоритма оптимизации развития электрической сети положен генетический алгоритм.

Целью работы является оценка возможности применения генетических алгоритмов для оптимизации функционирования и развития электроэнергетических систем.

При проведении теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку алгоритмов моделирования и анализа режимов электроэнергетической системы, решаются следующие задачи:

1. Анализ существующих моделей и методов решения оптимизационных задач электроснабжения промышленных предприятий.

2. Анализ области применения эволюционных алгоритмов в оптимизационных задачах электроэнергетики. Среди таких задач можно выделить следующие: расчет установившихся режимов ЭЭС, оптимизация режимов электрических систем по активной и реактивной мощности, поиск оптимальной схемы электрической сети, выбор состава агрегатов ЭС, краткосрочное планирование режимов гидроэлектростанции (ГЭС), настройка параметров электрооборудования.

3. Разработка и развитие новых научных методов оптимизации режимов электрических систем, основанных на механизмах эволюции.

4. Сравнительный анализ методов нелинейного программирования и генетических алгоритмов в задачах оптимизации функционирования и развития электрических систем.

Практическое значение работы заключается в повышении эффективности используемых алгоритмов управления режимами и развитием энергосистем, что приводит к улучшению технико-экономических показателей энергосистем, снижению расхода электроэнергии, связанного с ее передачей, улучшению качества функционирования электроэнергетической системы, повышению оперативности и обоснованности принятия решений.

Источники

1. Автоматизация управления энергообъединениями / под ред. С.А. Совалова. М.: Энергия, 1979. 432 с.

2. Веников В.А., Идельчик В.И. Методы оптимизации управления планированием больших систем энергетики. М., 1974. 204 с. (Электрические станции, сети и системы).

3. Идельчик В.И. Расчёты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.

4. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики / под ред. В.А. Веникова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1981. 288 с.

УДК 621.315.1

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДАЧНЫХ КООПЕРАТИВОВ

Е.А. Сакина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
missis.ekaterina-813@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук С.Р. Сидоренко

Аннотация. Проведен технико-экономический сравнительный анализ использования неизолированных проводов и самонесущих изолированных проводов (СИП) с целью выбора наиболее экономически выгодных подходов к проектированию систем электроснабжения дачных участков с учетом дальнейших эксплуатационных характеристик. Все расчеты были произведены на основе данных, полученных от садового общества «Здоровье», расположенного на территории с. Осиново, Зеленодольского района, РТ.

Ключевые слова: технико-экономический расчет СИП, системы электроснабжения дачных участков.

Владельцы дачных участков заинтересованы в качественном и сравнительно недорогом электроснабжении в связи с тем, что приобретение электрооборудования, его установка и обслуживание осуществляется за счет взносов членов садового общества. В системах электроснабжения загородных участков используются масляные трансформаторы и воздушные линии на деревянных опорах с неизолированными проводами. Для дома или дачи СИП провод является самым оптимальным решением. Самонесущий – означает, что для его поддержки в воздухе не требуется для монтажа других видов кабелей натянутая струна, как. Данная особенность обеспечивается прочностью самих жил из алюминия или при помощи дополнительного стального провода сердечника.

Рис. 1. Крепление провода СИП к дому

Когда вводится электричество в дом через СИП, необходимо соблюдать требования ПУЭ [2]. Одним из основных требований, является высота ввода, она должна быть не менее 2,75 м. При этом расстояние до крыши или других выступающих частей дома должно быть не меньше 20 см. Поэтому, если высота дома не позволяет выполнить эти требования, то допускается ввод через крыши. Определившись с местом для крепления проводов, можно приступать к монтажу. Инструкция по креплению провода СИП рекомендует применять специальную арматуру (рис. 1) [2]. В число такой арматуры входят специальные анкерные кронштейны, к которым крепятся анкерные зажимы, удерживающие провода при помощи внутренних клиньев. Для подключения к центральной силовой линии необходимы прокалывающие ответвительные зажимы. Для соединения СИП используются специальные герметичные гильзы, а для оконцевания – алюминево-медные и болтовые наконечники с термоусаживаемыми трубками. Закрепив провод между столбом и домом, можно приступать к его вводу в дом. Здесь может быть несколько вариантов. В случае, если вводной автомат и счетчик расположены на стене дома, то проводом СИП лучше выполнить подвод электрической энергии только до вводного автомата. Остальную разводку лучше выполнять кабелем. В случае, если же вводной автомат и счетчик расположены в распределительной коробке внутри дома, то можно выполнить либо подключение кабеля к проводу СИП, либо ввод в дом

электричества проводом СИП. В любом случае, требования по вводу одинаковы для всех из приведенных вариантов.

Для оценки рациональности использования изолированных проводов на дачных участках было выбрано садовое общество «Здоровье», расположенное в Зеленодольском районе с. Осиново. «Здоровье» включает в себя 2 улицы (Лесная и Садовая) и 34 земельных участка. Система электроснабжения участков осуществлена установлением 35 железобетонных опор – СВ 95-2 и масляным трансформатором ТМ-160/10; смонтирована ЛЭП напряжением 0,4 кВ. Произведем сравнительный технико-экономический анализ использования неизолированных проводов марки А и СИП, используя существующую на сегодняшний день схему электроснабжения садового общества «Здоровье» (рис. 2).

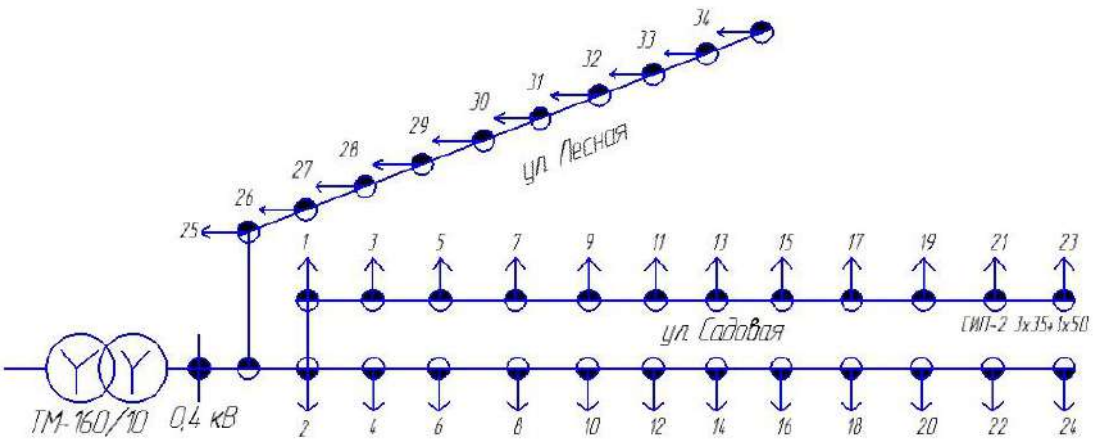


Рис. 2. Схема электроснабжения садового общества «Здоровье»

По СП 31-110-2003 [1] удельная расчетная электрическая нагрузка дачного дома составляет 2,6 кВт (в расчетах примем 5 кВт, чтобы учесть дальнейший рост нагрузки потребителей). Максимальный ток нагрузки линии электропередачи рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi} = \frac{12 \cdot 5}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}9} = 101{,}29 \quad \text{А},$$

где $P_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка воздушной линии, кВт; $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети, кВ; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Учитывая максимальную токовую нагрузку по допустимому нагреву выбраны провода марок А-35 и СИП-2 3х35+1х50. Определим затраты

на приобретение требуемого количества проводов, изоляторов и арматуры линии электропередачи:

Провода:

СИП-2: длина, м – 1040; цена, м/руб. – 122,46; итого – 127358,4 руб.

А-35: длина, м – 4160; б) цена, м/руб. – 18,80; итого – 78208 руб.

Изоляторы:

СИП-2 – конструкция провода не требует дополнительной изоляции токопроводящей жилы от опоры [2];

А-35: изолятор, 140 шт., 6000 руб.

Арматура:

СИП-2: лента монтажная, 70 шт., 1860 руб.; скрепка-бугель, 70 шт., 1637,64 руб.; кронштейн анкерный, 35 шт., 4867,30 руб.; зажим анкерный, 70 шт., 10446,90 руб.; хомут для СИП, 35 шт., 12389,35 руб.; итого – 31201,19 руб.

А-35: крепление провода, 140 шт., 15900 руб.; траверса, 35 шт., 15331,25 руб.; хомут, 35 шт., 7064,55 руб.; гайка, 70 шт., 259 руб.; итого – 38554,8 руб.

Таким образом, общая стоимость монтажа СИП-2 составила 158559,59 руб., что больше затрат на установку провода А-35 на 22,6 %, 122762,8 руб. Однако, благодаря своей конструкции, в проводах СИП потери электрической энергии меньше, чем в неизолированных алюминиевых проводах. Экономия электрической энергии за дачный сезон составит:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\text{р}}^2 \cdot l \cdot (r_1 - r_2) \cdot t_{\text{р}} \cdot 10^{-3} = 6612{,}97 \quad \text{кВт} \cdot \text{ч},$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток линии, А; r_1, r_2 – удельные (погонные) активные сопротивления соответствующих проводов, Ом/км; l – длина линии электропередачи, км; $t_{\text{р}}$ – время максимума нагрузки, ч.

Члены садового общества оплачивают электрическую энергию по тарифам, установленными Региональной энергетической комиссией для населения, проживающих в квартирах, оборудованных электрическими плитами. Тариф на электроэнергию составляет 3,04 руб./кВт·ч. Сезонная экономия (в среднем 5 месяцев) в денежном эквиваленте составит:

$$\Delta Э = \Delta W \cdot T_{ээ} = 6612{,}97 \cdot 3{,}04 = 20103{,}45 \text{ руб.},$$

где $T_{ээ}$ – тариф на электрическую энергию, руб./кВт·ч.

Срок окупаемости удорожания установки проводов СИП-2 по отношению к проводу А-35 составит:

$$DP = \frac{I_{nv}}{\Delta Э} = \frac{35796{,}79}{20103{,}45} = 1{,}78 \quad \text{сезона},$$

где I_{nv} – разница объемов инвестиций на приобретение и монтаж изолированных и голых проводов, руб.

В итоге, разница затрат на монтаж СИП по отношению к А-35 окупится в течение двух лет с учетом продолжительности дачного сезона.

Проведя анализ полных затрат на установку проводов, а также сэкономленную электрическую энергию при последующей эксплуатации линии электропередачи, можно сделать вывод о том, что использование самонесущих изолированных проводов экономически и технически целесообразнее, несмотря на высокие вложения.

Источники

1. СП 31-110-2003. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа [Электронный ресурс]. М., 2015. URL: https://www.faufcc.ru/upload/doc_library/sp4993.pdf (дата обращения: 23.10.2018).
2. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ // Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Моркнига, 2018. 512 с.

УДК 621.315.1

ПАТЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ВОПРОСАМ МОНТАЖА И АРМАТУРЫ ДЛЯ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Е.А. Сакина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
missis.ekaterina-813@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук С.Р. Сидоренко

Аннотация. Проведен патентный поиск по вопросам монтажа и арматуры самонесущих изолированных проводов (СИП) с целью проверки степени уникальности изобретений, определения области их применения, включая исследуемую область, установления наличия аналогов, получения сведений о лицах, на имя которых выданы патенты. Патентный поиск позволяет определить общее состояние исследований в области монтажа и арматуры для СИП, а анализ результатов поиска – позволяет составить прогнозы и выявить тенденции будущего развития изобретений и их аналогов.

Ключевые слова: патентный поиск, монтаж и арматура СИП, уникальность изобретений.

Объектом настоящего патентного исследования (поиска) являются воздушные линии 0,4–20 кВ с изолированными и защищенными проводами, а именно, самонесущие изолированные провода (СИП), предназначенные для передачи и распределения электрической энергии в воздушных силовых и осветительных сетях.

Обоснование необходимости выполнения конкретных работ при исследовании возможности использования ВЛ – 0,4–20 кВ с изолированными и защищенными проводами – задача данного патентного исследования [4].

Патентный поиск [3] осуществлялся по вопросам монтажа и арматуры для СИП. Данное направление поиска связано с тем, что в настоящее время актуален вопрос о замене голых проводов на самонесущие изолированные провода, позволяя тем самым внедрить новую технологию монтажа, ремонта и эксплуатации воздушных линий. Проведем сопоставление между монтажом «новых» изолированных воздушных линий и «старых» неизолированных:

Воздушная линия с неизолированным проводом (ВЛН):

1. Монтируется по-жильно на отдельных изоляторах, которые в свою очередь размещаются на траверсе.

2. Крепление на опоре.

3. Арматура для крепления вида провод-изолятор, трос-опора; подключение абонентов под напряжением категорически запрещено [2].

Воздушная линия с изолированным проводом ВЛИ (СИП):

1. Монтируется 1 провод, состоящий из 4 скрученных в жгут проводников.

2. Крепление на опоре и по фасадам зданий.

3. Арматура более универсальна, надежна и удобна (опора-провод), т.е. с помощью прокалывающих ответвительных зажимов возможно подключение абонентов под напряжением [2].

Видно, что монтаж и арматура СИП имеет ряд преимуществ перед линиями с неизолированными проводами. Применение самонесущего изолированного провода СИП на ВЛ коренным образом меняет практику проектирования, строительства и обслуживания воздушных линий с СИП (ВЛИ). Применение арматуры для СИП позволяет значительно повысить уровень механизации работ, резко сократить затраты на обслуживание и увеличить нормативный срок службы линий до 30–40 лет, повысить надежность электроснабжения. В России более 9 лет успешно применяется арматура для СИП, в эксплуатации находится ~1,0 млн. км воздушных электрических линий (ВЛИ) напряжением от 0,4 до 1 кВ. Арматура для

СИП представляет собой совокупность приспособлений, предназначенных для крепления провода СИП на опорах и фасадах зданий, подключения потребителя (абонента), при вводе в ТП и соединения с силовым подземным кабелем, а также с голым проводом при переходе с высоковольтной линии (ВЛ) на линию СИП (ВЛИ). Арматура для СИП разработана под все существующие конструкции СИП. Срок службы арматуры для СИП не менее 40 лет. Арматура для СИП рассчитана на монтаж и эксплуатацию при низких температурах, однако ее монтаж при температуре ниже 20 °С не допускается.

Таким образом, в качестве итога данного аналитического обзора можно сделать следующие выводы:

1. Монтаж и арматура СИП имеет ряд преимуществ перед линиями с неизолированными проводами.

2. Можно утверждать, что внедрение СИП в России в настоящее время остаётся на стадии развития (несмотря на 9-ти летний стаж), так как отечественные энергосистемы не вполне подготовлены к полному переходу на изолированные ВЛ. Это связано с отсутствием информации, нормативной документации, а также персонала, специально подготовленного к работе с проводом СИП.

В ходе патентного исследования составлен отчет [1] о патентном поиске по вопросам монтажа и арматуры СИП, сформированы приложения с указанием найденных патентов на изобретения. Проведенные патентные исследования подтверждают научную значимость и прикладную перспективность проведенных теоретических исследований.

Источники

1. ГОСТ Р 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. М.: Стандартинформ, 2006. 15 с.

2. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ // Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Моркнига, 2018. 512 с.

УДК 621.314.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Е.О. Солдусова[1], А.В. Проничев[2]
[1,2] СамГТУ, г. Самара
[1,2]esoldusova@inbox.ru
Науч. рук. А.А. Казанцев

Аннотация. В современных условиях потери электроэнергии и мощности можно снизить применением в конструкциях силовых трансформаторов следующих инновационных решений: использование эффекта низко- и высокотемпературной сверхпроводимости, внедрение новых эффективных способов формирования основного магнитного потока с помощью аморфных ферромагнитных материалов и применение комбинированных конструкций силовых трансформаторов, сочетающих в себе перечисленные выше решения. Моделирование участка сети ГПП-1 г. Тольятти с заменой существующих масляных трансформаторов было проведено в ПК RastrWin3. Была оценена эффективность применения инновационных трансформаторов по сравнению с масляными. Были построены графики зависимости коэффициента полезного действия от коэффициента загрузки для различных видов трансформаторов. Результаты моделирования показали, что энергоэффективность инновационных трансформаторов значительно выше, чем энергоэффективность трансформаторов с традиционным исполнением магнитопровода. Удельные потери в сети 20 кВ ниже, чем в сети 10 кВ при использовании каждого из видов трансформаторов.

Ключевые слова: трансформатор, потери, энергосбережение, энергоэффективность, аморфные материалы, высокотемпературные сверхпроводниковые материалы.

Потери электроэнергии ΔW в электроустановках ЭССЭ при передаче, распределении и потреблении электроэнергии – это, с точки зрения закона сохранения энергии, неизбежные энергетические и экономические затраты на обеспечение физической сущности названных технологических процессов. Можно констатировать, что эти затраты, в частности, связанные с выделением тепла, за исключением его полезного использования, наносят вред как самому электрооборудованию, так и окружающей среде [1, 2].

Поэтому, несмотря на то, что проблема снижения суммарных потерь электрической мощности и энергии в электроэнергетике всегда была и есть в центре внимания эксплуатации, научных исследований, проектирования и конструирования новых электроустановок и процессов, можно констатировать непреходящую актуальность и необходимость поиска новых решений. В современных условиях потери электроэнергии

и мощности можно существенно снизить применением в конструкциях силовых трансформаторов следующих инновационных решений:

– использование эффекта сверхпроводимости низко- и высокотемпературной (для кардинального уменьшения нагрузочных потерь в обмотках СТ [3, 4];

– внедрение новых эффективных способов формирования основного магнитного потока СТ с помощью аморфных ферромагнитных материалов и перспективных бессердечниковых конструкций СТ для значительного (в 5–6 раз) снижения потерь холостого хода трансформатора [5, 6];

– применение комбинированной конструкции, сочетающей в себе использование аморфных магнитопроводов, и материалов, которые обладают эффектом высокотемпературной сверхпроводимости для изготовления обмоток СТ (АВТСТ) [1].

Силовой трансформатор является наиболее ответственной и дорогостоящей электроустановкой в ЭССЭ, а применение новых материалов увеличивает его стоимость. Поэтому необходимо, чтобы этот элемент сети функционировал с высокой надёжностью и стабильностью [6].

Для фрагмента сети ГПП-1 г. Тольятти на напряжение 10 и 20 кВ, представленного на рис. 1, была смоделирована замена традиционных масляных трансформаторов (ТМ) на всех трансформаторных подстанциях с учетом реальных нагрузок на АФТ, ВТСТ и АВТСТ. Расчеты потерь электроэнергии и мощности были выполнены в программном комплексе RastrWin3. Анализировались потери во всей сети в целом, без расчета удельных потерь на одну ТП.

Была оценена эффективность применения АФТ, ВТСТ и АВТСТ по сравнению с традиционными масляными трансформаторами путем определения суммарных потерь в линиях электропередачи и в трансформаторах схемы (рис. 1).

Графически результаты расчетов суммарных потерь для всех видов трансформаторов в сетях 10 и 20 кВ представлены на рис. 2.

Далее в работе были построены графики зависимости коэффициента полезного действия (КПД) от $k_з$ для ТМ-400/10 и АФТ, ВТСТ, АВТСТ трансформаторов с той же номинальной мощностью и напряжением. Полученные результаты показаны на рис. 3 и в таблице.

Из результатов моделирования видно, что энергоэффективность инновационных трансформаторов значительно выше, чем энергоэффективность трансформаторов с традиционным исполнением магнитопровода. Также можно отметить, что удельные потери в сети 20 кВ ниже, чем в сети 10 кВ при использовании каждого из видов трансформаторов.

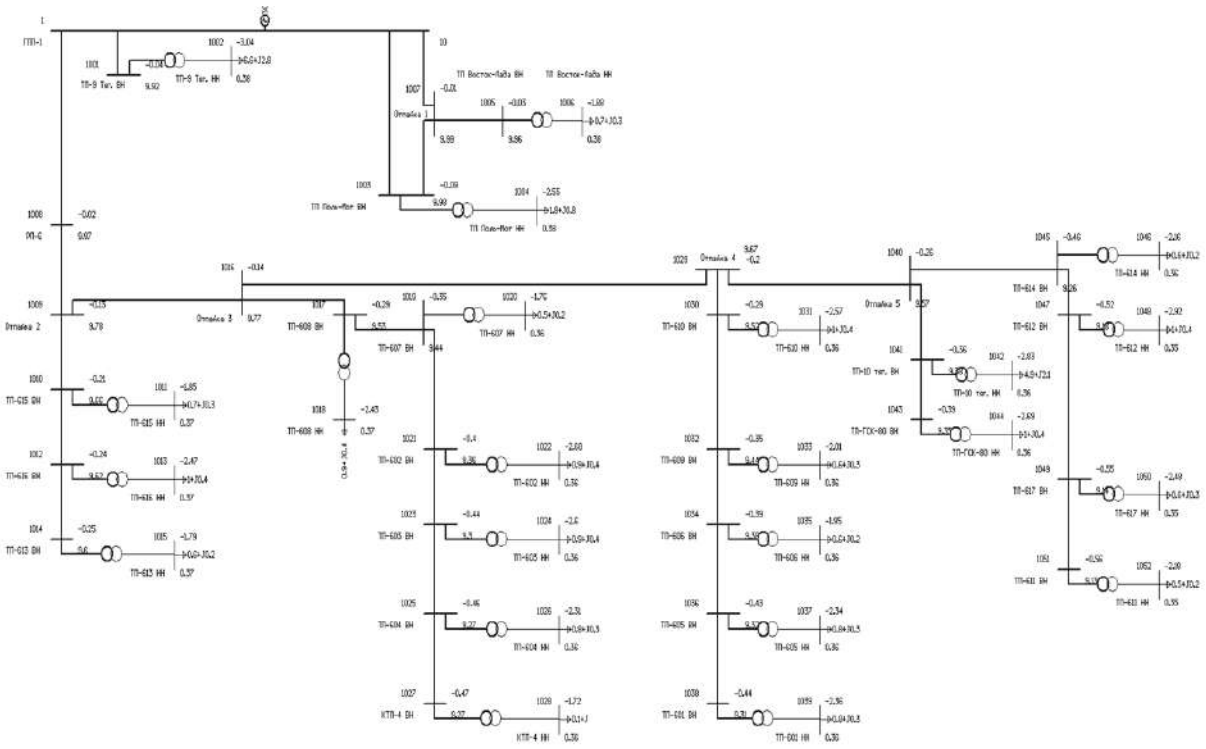


Рис. 1. Фрагмент ГПП-1 г. Тольятти

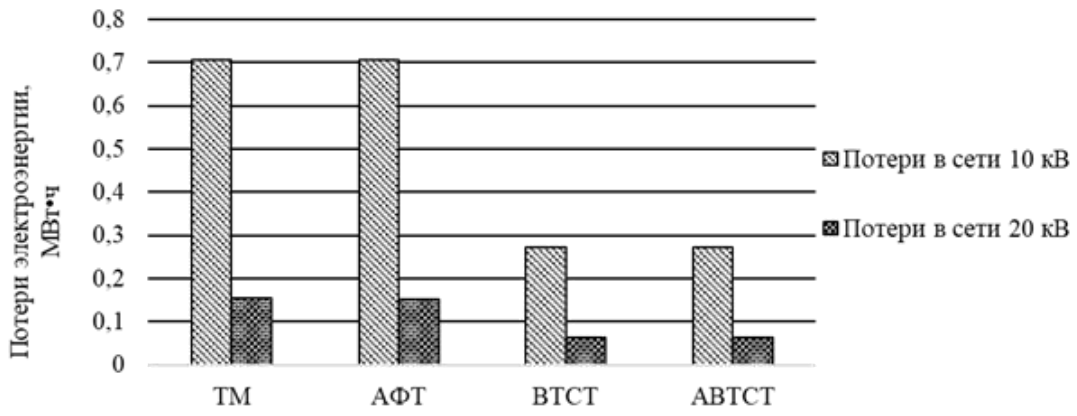


Рис. 2. Результаты расчетов суммарных потерь в сетях 10 и 20 кВ при использовании различных видов трансформаторов

Максимальные значения КПД трансформаторов при соответствующих значениях $k_з$

Тип трансформатора	η_{max}, %	$k_{зmax}$
ТМ	98,805	0,4
АФТ	99,470	0,18
ВТСТ	99,273	0,61
АВТСТ	99,652	0,28

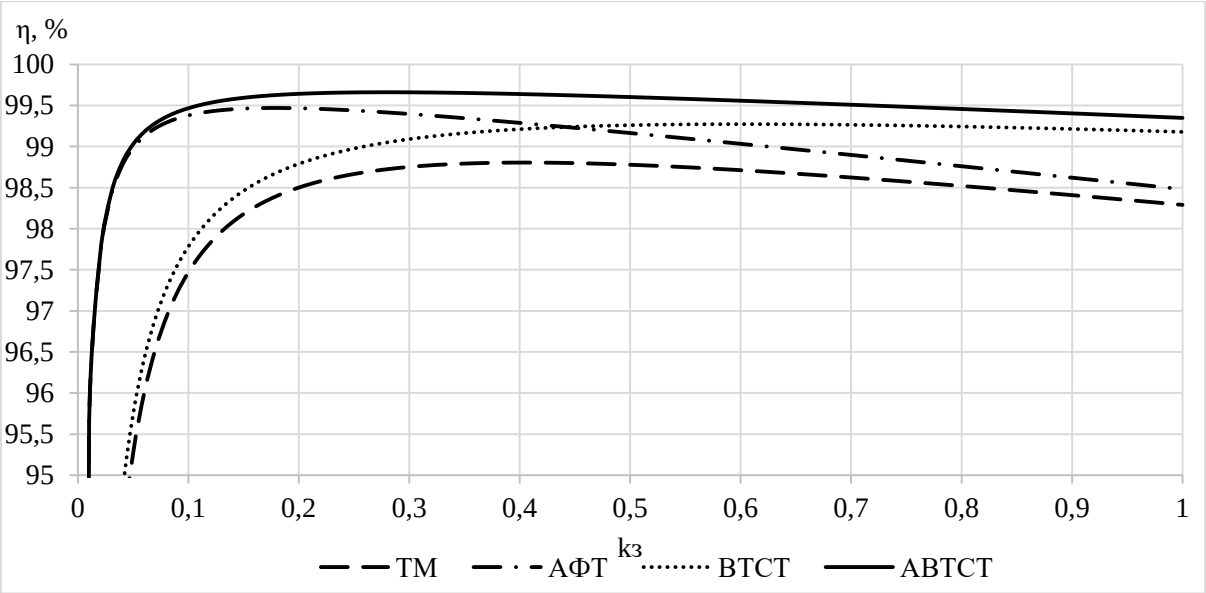


Рис. 3. Графики зависимости КПД от $k_з$

На основании построенных графиков можно сделать вывод, что у АФТ и ТМ с ростом $k_з$ коэффициент полезного действия снижается быстрее, чем у ВТСТ и АВТСТ ввиду больших потерь короткого замыкания. Действительно, у трансформаторов с меньшими потерями холостого хода, таких как АФТ и АВТСТ, наибольший КПД достигается при меньшем значении $k_з$, по сравнению с традиционными масляными трансформаторами. КПД таких трансформаторов при коэффициенте загрузки, соответствующему максимальному значению КПД ТМ, значительно выше масляного. У ВТСТ трансформатора наибольший КПД соответствует большему $k_з$ по сравнению с другими рассмотренными видами трансформаторов.

Таким образом, введение в эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов, высокотемпературных сверхпроводниковых трансформаторов и их комбинированной конструкции является одним из наиболее перспективных путей снижения технических потерь энергосистем. Производственные способности российских производителей в изготовлении трансформаторов АФТ развиваются быстрым темпом и могут обеспечить спрос на данный тип оборудования.

Источники

1. Савинцев Ю.М. Анализ состояния производства в РФ силовых масляных СТ I-III габаритов// Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2012. № 1. С. 43–53.

2. Александров Н.В. Исследование влияния сверхпроводниковых трансформаторов на режимы электроэнергетических систем: автореф. дис. … канд. техн. наук. Новосибирск, 2014. 22 с.

3. Анализ эксплуатационных свойств трансформаторов с сердечниками из аморфных материалов и защита их с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений / В.Г. Гольдштейн [и др.] // Вестник СамГТУ. 2013. № 4 (40). С. 149–157. (Технические науки).

4. Кузнецов Д.В., Гольдштейн В.Г. Совершенствование концепции и методов организации энергоснабжения мегаполисов // Промышленная энергетика 2014. № 2. С. 7–12.

5. Манусов В.З., Александров Н.В. Ограничение токов короткого замыкания с помощью трансформаторов с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками // Известия ТПУ. 2013. № 4. С. 100–105.

6. Comparison of the efficiency of superconducting and conventional transformers [Электронный ресурс] / A. Berger [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2010. Vol. 234, Pt. 3. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/234/3/032004/pdf (дата обращения: 22.11.2018).

УДК 621.311.4

ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ЩИТ»

Р.Р. Фахрутдинова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
regina.3x@bk.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Цветков

Аннотация. Современная жизнь требует активного внедрения энергосберегающих технологий, что ведет к снижению затрат на электроэнергию в производственных, административных и жилых помещениях. Автоматизированные системы «Умный щит» передовых электротехнических компаний являются передовой энергоэффективной технологией, позволяющей заметно снизить потребление энергоресурсов при минимальных дополнительных затратах.

Ключевые слова: энергосбережение, инновационная технология, распределение энергопотребления, качество и непрерывность энергоснабжения, система «Умный щит».

Ведущие мировые компании в настоящее время предлагают быстрое и доступное решение по интеграции в системы электроснабжения целого спектра различных устройств учета и управления распределением энергоресурсов. Система «Умный щит» – это абсолютно новый подход к распределению электроэнергии, при создании которого был учтен

современный уровень технологического развития, накопленный компаниями за последнее десятилетие.

Решение «Умный щит» является низшим уровнем систем автоматизации, работающим непосредственно с датчиками получения информации, предусматривает возможность архивации большого количества данных от приборов учета по месту подключения, где находится непосредственно источник энергопотребления, и, что немаловажно, легкую передачу полученных данных в виде «пакетов» информации, преобразованной в стандарты обмена информации, в систему более высокого уровня. Благодаря решению «Умный шит» снижение энергопотребления может выполняется в три шага, которые заключаются в том, чтобы измерить и собрать информацию, затем передать и проанализировать ее. В дальнейшем приступить к действиям в области повышения энергоэффективности на основе алгоритмов, заложенных в системы верхнего уровня.

Система «Умный щит» выгодно отличается от аналогичных систем рядом особенностей:

– может базироваться не только на приборах учета электроэнергии, но и на устройствах технического учета, встроенных в аппараты распределения энергии;

– позволяет вести мониторинг энергопотребления с интервалом в 15 мин по часам, неделям, месяцам;

– предоставляет возможность сравнивать показатели, полученные за предыдущие периоды, с текущими данными, оценивать график и характер нагрузки, видеть резко аномальный рост нагрузок в конкретные часы и на конкретных объектах, т.е. обеспечивает детальный мониторинг энергопотребления;

– легко интегрируется архитектуру электроснабжения объекта с минимальными затратами;

– предусматривает возможность достаточно широкого территориального разброса подконтрольных системе энергоустановок, т.е. решение «Умный щит» отлично подходит для так называемых «мультисайтовых» предприятий, так как полученная информация может быть сведена в единый узел с помощью широко распространенных сегодня Web-технологий.

В основе программного обеспечения, осуществляющего мониторинг и отображение информации от системы «Умный щит», лежит интуитивно понятный интегрированный интерфейс, с помощью которого пользователь получает полные и исчерпывающие данные, причем для их формирования

нет необходимости иметь целый штат IT-специалистов, приобретать сложные и дорогостоящие SCADA-системы и приобретать целый комплекс дорогостоящего оборудования. Это комплексное решение, состоящее из аппаратной и программной части – SaaS (программного обеспечения как сервиса), которое обеспечивает возможность проведения анализа в автоматическом режиме для дальнейшего принятия решений в пользу энергоэффективности.

Современный «Умный щит» стал воплощением идеи объединенной интеллектуальной системы цифровизации электроснабжения.

Реализация этой идеи подразумевает тесную интеграцию со специализированным программным обеспечением и интернет-сервисом. При этом основные достоинства предполагаемого программного обеспечения – это гибкость, удобство, низкая стоимость, отсутствие потребности в инсталляции дополнительного серверного оборудования и возможность расширения.

Система местного распределения электроэнергии «Умный щит» предоставляет программе, работающей на удаленном сервере, информацию для принятия конкретных действий. С момента ввода в эксплуатацию объекта, оснащенного системами «Умный щит», начинает работать первый этап оптимизации энергопотребления – сбор информации. На втором этапе полученные данные «привязываются» к стандартным энергоэффективным показателям, и осуществляется проверка отклонения их от нормы. Помимо этого, реализуется механизм предупреждения оператора о возникновении так называемых «предаварийных ситуаций» в системе. Все эти функции берет на себя программное обеспечение, которое предлагается компаниями как сервис, не требующий от заказчика инвестиций в локальную IT-систему и ее поддержку. Программное обеспечение соединено через Интернет с щитами электроснабжения, выполненными по технологии «Умный щит», и предоставляет заказчику онлайн доступ к информации повсюду, где есть Интернет. Третий шаг – осуществление корректирующих действий, направленных на повышение энергоэффективности непосредственно на объекте, базирующееся на анализе собранных и обобщенных данных. И заключительный, четвертый, этап – подтверждение результата предпринятых действий, т.е. стоимостная оценка мер по оптимизации электроснабжения.

Таким образом, при сложившемся уровне цен на рынке энергоснабжения, долгосрочная стабильность бизнеса может быть обеспечена контролем и разумным сокращением затрат на энергоснабжение. В этом случае система «Умный щит» предоставляет

новый подход к проектированию, изготовлению и внедрению электроснабжения, при котором на этапе строительства сразу закладывается возможность контролировать и управлять расходом энергоресурсов объекта с первых дней его эксплуатации.

Увеличение капитальных затрат, связанное с дооснащением электроустановки до уровня «Умный щит», окупается в течение короткого срока (от полугода до трех лет), если используется как инструмент для энергосбережения. Далее владелец объекта ежегодно получает чистую экономию от снижения операционных затрат.

Источники

1. В.М. Батенина, В.В. Бушуева, Н.И. Воропая. Инновационная электроэнергетика – 21. М.: ИЦ «Энергия», 2017. 584 с.

2. URL: https://www.schneider-electric.ru/ru/work/products/product-launch/smart-panels/overview.jsp (дата обращения: 17.02.2019).

УДК 621.311

МЕТОДИКА ВЫБОРА КОЛИЧЕСТВА ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.М. Хамидуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dinarhamidullin_08@rambler.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Г. Логачева

Аннотация. В данной работе изложены теоретические предпосылки использования альтернативной энергетики в Республике Татарстан. Приведены предложения по повышению эффективности энергопреобразующих установок на предприятии. Показана целесообразность комплексного использования энергии солнца и ветра в качестве дополнительного или резервного источника электроснабжения. Приведены формулы для выбора количества генерирующих установок на основе возобновляемых источников энергии для промышленного предприятия.

Ключевые слова: распределенная энергетика, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, ветряные установки, солнечные установки, промышленные предприятия.

Полноценной замены традиционных источников энергии альтернативными на сегодняшний день не достигнуто ни в одном государстве мира, и в ближайшие годы такой сценарий не подтверждается научными расчетами. Однако уже не редки случаи, когда альтернативная

энергетика занимает экономически значимый сегмент в различных промышленных сферах. Прежде всего это касается территорий с благоприятными физико-географическими условиями: наличие термальных вод, расположение на побережье, на наветренных склонах или в субтропических широтах с ярко выраженным преобладанием солнечных дней. Ресурсы альтернативных источников энергии весьма значительны и в Татарстане, не имеющем ярко выраженных благоприятных природных факторов. Данная территория является своеобразной зоной «рискованного применения». Рискованной в плане оправданности вложения средств в альтернативную энергетику в данном регионе. Исходя из сказанного, оценка климатических ресурсов использования альтернативной энергетики, в частности потенциально пригодных для преобразования энергии ветра и солнца, является актуальной задачей.

Использование альтернативной энергетики может быть оправдано и в случае отсутствия экономической целесообразности, поскольку возобновляемые источники энергии обладают экологичностью, к тому же могут быть использованы в нештатных ситуациях: при обеспечении подразделений силовых структур в автономных условиях или при ликвидации последствий стихийных или техногенных бедствий. Реальной доступностью в оговоренных ограничениях обладают энергетические ресурсы ветра и солнечного света у поверхности Земли.

В Татарстане средняя годовая скорость ветра у поверхности Земли варьируется, как правило, от 2 м/с (Елабуга) до 5 м/с (Бегишево (аэропорт)), при этом в 15–25 % времени снижается ниже критических значений (менее 2,5–3 м/с) [1]. Переработка энергии воздушного потока в электроэнергию возможна только в определенном диапазоне скоростей ветра. Минимальное значение скорости ветра для работы ветрогенератора 2–3 м/с. Таким образом, в соответствии с климатической нормой для данной местности, ветрогенераторы могут использоваться 75–85 % времени, но, в основном на минимальных уровнях выработки электроэнергии.

Количество солнечных часов для Татарстана в течение года колеблется от 1763 (Бугульма) до 2066 (Мензелинск), что составляет 20–24 % времени. Еще 8–14 % времени приходится на так называемые «полуясные» дни. Таким образом, от четверти до трети годового времени имеет место прямая солнечная радиация, в остальное световое время присутствует только рассеянная солнечная радиация.

За год на Землю приходит 1018 кВт·ч солнечной энергии, всего 2 % которой эквивалентны энергии, получаемой от сжигания 2×1012 т условного топлива. Эта величина сопоставима с мировыми топливными

ресурсами. Так что в перспективе солнечная энергия вполне может стать основным источником электроэнергии на Земле [1].

Использование в комплексе ветрогенераторов и солнечных батарей, позволяет вырабатывать электроэнергию в течение 80–93 % времени. Но это не значит, что оставшееся время оборудование будет обесточено, поскольку современные комплексы позволяют аккумулировать электроэнергию.

Удельная мощность ветра (Вт/м^2) однозначно определяется двумя характеристиками: скоростью движения воздушной массы v и плотностью воздуха ρ при текущих значениях температуры окружающей среды и атмосферного давления. Удельная мощность ветра определяется по формуле:

$$N_{\text{уд}} = 0{,}5\rho S v^3.$$

В оперативной практике можно использовать упрощенные расчеты [2–5] обеспечивающие достаточную точность:

$$P = \frac{D^2 V^3}{7000},$$

$$P' = 0{,}6 \cdot S \cdot V^3,$$

где P, P' – мощность (кВт); D – диаметр винта (м); V – скорость ветра (м/с); S – площадь (м^2), на которую дует ветер под углом 90°.

Для длины лопасти 1 м при средней скорости ветра 3 м/с за сутки установка вырабатывает всего около 0,5 кВт электроэнергии. При 5 м/с этот показатель уже возрастает до 1,7 кВт. При увеличении длины лопасти до 2 м максимальная суточная выработка электроэнергии составит, соответственно 1,5 и 7 кВт, что уже достаточно для обеспечения бытовых нужд среднестатистической двухкомнатной квартиры или работы подвижной метеостанции (ПМС-72).

Энергетическая освещенность, которую создают солнечные лучи на перпендикулярной к ним плоскости вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца, характеризуется солнечной постоянной.

$$E_{SUN} = (1365 \pm 14).$$

Модуль мощностью P_w в течение выбранного периода вырабатывает следующее количество энергии:

$$W = \frac{k \cdot P_w \cdot E}{1000},$$

где E – значение инсоляции за выбранный период, k – коэффициент, равный 0,5 летом и 0,7 в зимний период. Он делает поправку на потерю мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также учитывает наклонное падение лучей на поверхность модулей в течении дня. Разница в его значении зимой и летом обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период.

Исходя из суммарной мощности потребляемой энергии и приведенной выше формулы, можно легко рассчитать суммарную мощность модулей. А зная ее, простым делением ее на мощность одного модуля получим количество модулей.

Выбор максимальной мощности объекта, единичной мощности и количества агрегатов. Максимальная электрическая мощность должна соответствовать целям строительства объекта собственной генерации.

Целью строительства объекта принимается альтернативное энергообеспечение дополнительной нагрузки предприятия. В первую очередь, найдем мощность объекта, которая равна максимальной нагрузке, собственным нуждам, потерям [6]:

$$P_{\text{об}} = P_{\max} + P_{CH} + \Delta$$

Количество генерирующих установок выбирается, исходя из обеспечения максимальной мощности минимальным количеством генерирующих установок:

$$N_{\text{агр}} = \left[\frac{P_{\text{об}}}{\text{Р}_{\text{г.ед}}} \right].$$

Для обеспечения ремонтов оборудования без отключения нагрузки или ухудшения условий электроснабжения в автономном режиме работы, а также при необходимости обеспечения питания ответственных потребителей необходимо провести выбор дополнительного количества генерирующих установок, обеспечивающих резерв.

Для проектов распределенной генерации целесообразно предусматривать наличие «нагруженного» резерва. В работе одновременно должно находиться столько агрегатов и их загрузка должна быть такова, чтобы при выходе одного агрегата другие агрегаты, оставшиеся в работе могли полностью обеспечить нагрузку.

Величина нагруженного резерва определяется коэффициентом загрузки $K_{зг}$. Значения данного коэффициента в зависимости от количества агрегатов приведены в таблице.

Коэффициент $K_{зг}$ для определения величины нагруженного резерва

Количество агрегатов	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{зг}$	0,5	0,67	0,75	0,8	0,83	0,857	0,875	0,89	0,9

Количество агрегатов будет определяться отношением максимальной мощности объекта к единичной мощности агрегата с учетом коэффициента загрузки:

$$N_{агр} = \left[\frac{P_{об}}{P_{г.ед} \cdot K_{зг}} \right].$$

Для более эффективной работы желательно разделить солнечные и ветровые источники в пропорции 40:60, таким образом:

$$P_{сол} = P_{об} \cdot 0{,}4,$$

$$P_{вет} = P_{об} \cdot 0{,}6.$$

Соответственно количество солнечных батарей и ветрогенераторов будет:

$$N_{сб} = \left[\frac{P_{сол}}{P_{сол.б} \cdot K_{зг}} \right],$$

$$N_{вэу} = \left[\frac{P_{вет}}{P_{вэу} \cdot K_{зг}} \right].$$

Необходимость содержания дополнительных агрегатов в «холодном» резерве должна определяться, исходя из целей каждого проекта, в рамках технико-экономического обоснования с учетом оценки ущерба от недоотпуска. При рассмотрении проектов автономного энергоснабжения и электроснабжения особо ответственных потребителей целесообразно также провести оценку необходимости применения резервных дизельных источников электроснабжения.

Таким образом, с учетом изложенных выше положений, методика выбора количества генерирующих установок на основе возобновляемых источников энергии для промышленного предприятия заключается в выполнении следующих этапов расчета:

1. Мощность ветрогенераторов:

$$P = \frac{D^2 V^3}{7000},$$

$$P' = 0,6 \cdot S \cdot V^3,$$

где P, P' – мощность (кВт); D – диаметр винта (м); V – скорость ветра (м/с); S – площадь (м^2), на которую дует ветер под углом 90°.

2. Определение мощности солнечных батарей:

$$W = \frac{k \cdot P_w \cdot E}{1000}.$$

3. Мощность объекта, который равен максимальной нагрузке, собственным нуждам, потерям:

$$P_{\text{об}} = P_{\max} + P_{CH} + \Delta.$$

$$P_{\text{сол}} = P_{\text{об}} \cdot 0,4,$$

$$P_{\text{вет}} = P_{\text{об}} \cdot 0,6.$$

4. Количество агрегатов будет определяться отношением максимальной мощности объекта к единичной мощности агрегата с учетом коэффициента загрузки.

$$N_{\text{сб}} = \left[\frac{P_{\text{сол}}}{\text{Р}_{\text{сол.б}} \cdot K_{\text{зг}}} \right],$$

$$N_{\text{вэу}} = \left[\frac{P_{\text{вет}}}{\text{Р}_{\text{вэу}} \cdot K_{\text{зг}}} \right].$$

5. В конце отметим, что мощность ветровых генерирующих установок должна быть больше суммарной мощности солнечных

установок, т.к. ветрогенераторы работают эффективнее в течение суток. Также нужно ответственно подойти к вопросу аккумулирования электроэнергии.

Применение данной методики позволяет осуществить предварительный расчет требуемого количества и мощности солнечно-ветровых модулей для обеспечения стабильного электроснабжения выделенной части нагрузки промышленного предприятия.

Источники

1. Атлас ветрового и солнечного климатов России. СПб: Изд-во им. А.И. Воейкова, 1997. 173 с.
2. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. М: Наука и Техника, 2011. 320 с.
3. РД 52.04.275-89. Методические указания. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок, М.: Госкомгидромет, 1991. 57 с.
4. Энергия ветра [Электронный ресурс]. URL: http://www.vetrogenerator.ru/index.html (дата обращения: 17.01.2019).
5. Энергосберегающие технологии [Электронный ресурс]. URL: http://www.overs-energy.ru/products (дата обращения: 17.01.2019).
6. Синельников А.М. Выбор состава генерирующего оборудования на объектах распределенной генерации [Электронный ресурс]. URL: https://docplayer.ru/31072173-Vybor-sostava-generiruyushchego-oborudovaniya-na-obektah-raspredelennoy-generacii.html (дата обращения: 17.01.2019).

УДК 621.31

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Л.А. Хасанова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
khasanova995@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук С.Р. Сидоренко

Аннотация. Рассмотрен вариант повышения надежности электроснабжения энергоемких предприятий, при котором вместо обычного АВР используется

быстродействующий АВР. Проанализированы преимущества, которые дает данное устройство.

Ключевые слова: автоматический ввод резерва, надежность, система электроснабжения, энергоемкие предприятия.

Многие энергоемкие предприятия промышленности имеют непрерывный технологический процесс. Перерыв электроснабжения на таких предприятиях влечет за собой не только финансовые потери, но и нарушение технологии производства, а в особых случаях угрозу для безопасности и жизни людей.

Краткие провалы напряжения неблагоприятно воздействуют на работу устройств автоматизации и управления элементами, высоковольтных и низковольтных двигателей. Длительность таких провалов составляет всего несколько миллисекунд, однако происходят они десятки раз в год, что наносит урон экономике предприятий.

В соответствии с требованиями правил [2] для потребителей 1 категории надежности электроснабжения требуется энергоснабжение от двух независимых источников питания. Отключение одного источника не повлияет на процесс производства, так как подключится второй. Перерыв в электроснабжении в данном случае допускается лишь на время, которое потребуется на автоматический переход к другому источнику питания.

Данный переход обычно осуществляется при помощи специальных устройств автоматического ввода резерва. Данное устройство срабатывает лишь в определенных случаях, когда того требует реле минимального напряжения. Однако для предотвращения лишних действий при коротком замыкании на соседних участках и при действии устройств автоматического повторного включения линии, существует выдержка времени, которая не дает АВР моментально восстановить электроснабжение. Она может достигать нескольких секунд.

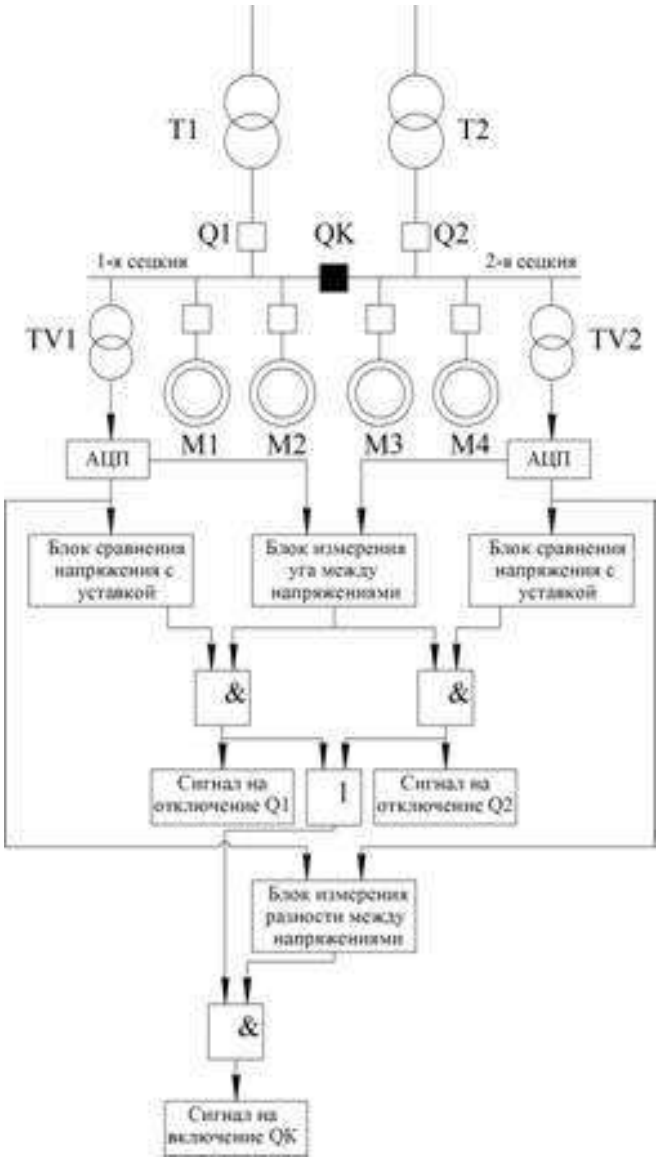
Такого рода задержка бывает недопустима при необходимости сохранения непрерывности сложного технологического процесса, так как происходят сбои в работе, выпадение из синхронизма двигателей, опрокидывание, отключение насосов и пр.

Поэтому появляется необходимость в использовании быстродействующего автоматического ввода резерва, что является эффективным средством против кратковременных перерывов электроснабжения и позволяет сделать переход на резервный источник питания почти мгновенным.

Такое устройство состоит из пускового устройства и коммутационных аппаратов, которые выполняют переключения.

Предлагается микропроцессорная реализация известного устройства для синфазного автоматического включения резервного питания потребителей с двигательной нагрузкой [1], которое основано на контроле угла между одноимёнными векторами напряжений взаиморезервируемых секций [3].

Предлагается реализация микропроцессорного быстродействующего автоматического ввода резерва, показанная на рисунке, для схемы, состоящей из двух параллельно работающих трансформаторов на секционированную систему шин, от которой питаются асинхронные двигатели [3].



Структурная схема реализации микропроцессорного устройства быстродействующего автоматического ввода резерва

В схему, представленную на рисунке, входят:

– аналого-цифровые преобразователи;

– блоки сравнения напряжений с уставками;

– блок измерения угла между векторами напряжений первой и второй секций;

– блок измерения разности между напряжениями первой и второй секций;

– логические блоки «И» и «ИЛИ» [3].

Контроль уровня напряжения на секциях и величины угла между векторами напряжений обеих секций позволяет исключить неправильную работу устройства при различных видах коротких замыканий на отходящих присоединениях. Устройство не будет срабатывать и при возникновении коротких замыканий на питающих присоединениях, которые должны отключаться быстродействующими защитами [3].

Благодаря внедрению быстродействующих микропроцессорных устройств ввода резерва, появляется возможность:

– обеспечения после восстановления электроснабжения успешного самозапуска электродвигателей;

– уменьшения сбоев компьютерных систем управления и повышение остаточных напряжений на шинах ТП 6(10)/0,4 кВ;

– обеспечения непрерывного и надежного электроснабжения потребителей за счет быстрого ввода резерва при аварийных и ненормальных режимах в электрических сетях;

– уменьшить дорогостоящие перерывы технологического процесса;

– уменьшить токи самозапуска трансформаторов, насосов и электродвигателей, тем самым повысить их ресурс из-за прекращения их повторных пусков;

– повышения уровня автоматизации производства и увеличения производительности;

– снижения рисков катастроф, которые могут возникнуть на предприятиях при перерыве электроснабжения.

Источники

1. Устройство для синфазного автоматического включения резервного питания потребителей с двигательной нагрузкой: а. с. 1019547 СССР № 3369881/24-07; заявл. 25.12.81; опубл. 23.05.83, Бюл. № 19.

2. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

3. URL: http://masters.donntu.org/2013/etf/teterina/diss/index.htm (дата обращения: 24.02.2018).

УДК 621.31

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТОКОПРОВОДОВ

Л.А. Хасанова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
khasanova995@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук С.Р. Сидоренко

Аннотация. Рассмотрен вариант оптимизации электроснабжения энергоемких предприятий, при котором вместо кабельных трасс используются токопроводы. Проанализированы преимущества токопроводов и условия экономически обоснованной замены.

Ключевые слова: токопровод, кабель, оптимизация, система электроснабжения, энергоемкие предприятия.

На энергоемких предприятиях особенное значение имеют электроприемники 1 категории, перерыв электроснабжения которых влечет за собой опасность для жизни людей, расстройство сложного технологического процесса, а также значительный материальный ущерб [4]. Поэтому важной задачей является повышение надежности электроснабжения для предотвращения событий подобного рода.

Одним из вариантов оптимизации схемы электроснабжения энергоемких предприятий является применение токопроводов в качестве замены многочисленных кабельных трасс. Ранее токопроводы применялись в основном для передачи электрической энергии от генераторов к распределительным устройствам электростанций. Но в последняя время их стали чаще применять на энергоемких промышленных предприятиях на напряжениях 6–35 кВ.

Согласно ПУЭ, токопровод – устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из неизолированных или изолированных проводников и изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций. В качестве проводников используются медь или алюминий.

Существует несколько особенностей применения токопроводов. Во-первых, они являются технически оптимальным решением при канализации токов не менее 1500 А. Во-вторых, существуют предельные расстояния передачи электрической энергии данным образом. На напряжение 6–10 кВ оно составляет не более 5 км, при напряжении 35 кВ – не более 10 км. Примечательно, что при использовании токопроводов может быть применен принцип магистральной системы распределения электрической энергии [1].

Токопроводы 6–10 кВ применяются в основном на предприятиях при сосредоточенном расположении крупных потребителей мощности, при высокой плотности электрических нагрузок и с большим числом часов использования максимума.

Применение токопроводов как замену большого числа кабелей дает экономическую выгоду, так как происходит повышение надежности из-за отсутствия кабельных муфт и больших потоков кабелей в туннелях, экономия дефицитных кабелей и улучшение эксплуатации сетей, благодаря постоянному наблюдению и быстрому исправлению повреждений [3]. Кроме того, токопроводы обладают большей пропускной способностью, чем кабели, и большим сроком службы.

Существуют различные виды токопроводов. По условиям прикосновения к токоведущим частям различают токопроводы открытые и закрытые, а также гибкие и жесткие.

Литые токопроводы подразделяются на два вида: токопроводы комплектные литые (ТКЛ) и токопроводы пофазноизолированные литые (ТПЛ). Они бывают двух исполнений: для внутренней и наружной установки.

Секция ТКЛ (рис. 1) состоит из алюминиевых или медных шин (1), залитых в эпоксидной смоле (2). Концы шин освобождены, что позволяет соединить две секции. Охлаждение происходит за счет сквозных отверстий (3) между фазами. ТКЛ рекомендуется для эксплуатации во влажных условиях, так как соединение секций заливается эпоксидной смолой.

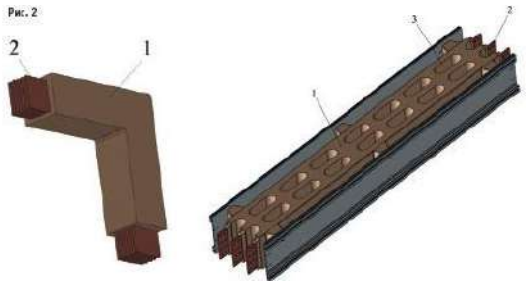


Рис. 1. Токопровод ТКЛ

Каждая фаза ТПЛ (рис. 2) состоит из секции разной конфигурации. Длина секции не превышает 10 м. Они соединяются между собой при помощи специальных муфт.

Преимущества литого токопровода перед кабелем следующие:

– малый радиус изгиба;

– один проводник на фазу;

– высокая стойкость к электродинамическим токам;

– компактные габаритные размеры;

– не горючие, не являются огнепроводными и не выделяют при пожаре вредные газы;

– исключена разница в длине между проводниками, имеют точные параметры активного и индуктивного сопротивления и обеспечивают равную, в максимально возможной степени, нагрузку на каждой фазе.

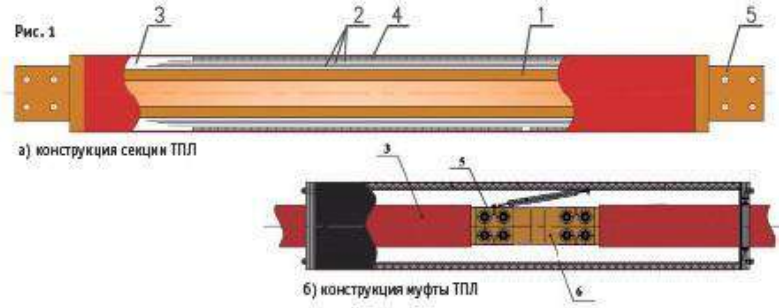


Рис. 2. Токопровод ТПЛ: 1 – Токоведущая жила – алюминиевая или медная труба с контактами на концах; 2 – полупроводящие слои; 3 – литая изоляция; 4 – слой заземления; 5 – контакты на концах; 6 – шинный компенсатор для компенсации линейного расширения проводника. Место соединения изолируется муфтой [2]

В сравнении с токопроводом с воздушной изоляцией литой токопровод имеет следующие преимущества:

– компактные габаритные размеры;

– срок службы составляет более 40 лет;

– удобный монтаж без сварочного оборудования;

– не требуются изоляторы;

– высокая степень защиты (до IP68);

– малые потери мощности;

– не требует обслуживания;

– не требуется покраска.

Токопровод ТЗКР с воздушной изоляцией имеет:

– увеличенные габаритные размеры;

– срок службы составляет 30 лет;

– монтаж со сварочным оборудованием;

– использование изоляторов;

– защита от пыли и влаги (IP54);

– значительные удельные потери мощности;

– требуется периодическое обслуживание;

– требуется периодическая покраска.

Однако у него есть свои преимущества:

– меньшая по сравнению с закрытыми токопроводами цена;

– минимальные сроки изготовления;

– быстрота и удобство монтажа без применения сварки;

– удобство обслуживания;

– высокая эксплуатационная надёжность электрических контактов литых шинодержателей;

– естественное (воздушное) охлаждение;

– малые потери мощности;

– высокая пожарная безопасность [5].

Источники

1. Электрические сети энергоемких предприятий / Анастасиев П.И. [и др.]. М.: Энергия, 1971. 344 с.

2. Даниелян Н. Опыт применения литых токопроводов в России [Электронный ресурс] // Энергетика и промышленность России. 2014. № 7 (243). URL: https://www.eprussia.ru/epr/243/15956.htm (дата обращения: 04.02.2019).

3. Декопов Б.И., Загриновский Р.И., Куперберг А.Д. Проектирование электроснабжения объектов горно-обогатительных предприятий. М.: Изд-во «Недра», 1989. 176 с.

УДК 621.315

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КАБЕЛИ

Э.М. Хисматуллина[1], Т.И. Петров[2]

[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]hismat.97@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Р.Р. Хуснутдинов

Аннотация. Передача электрической энергии от электростанций к потребителям осуществляется через электрические сети. С технической точки зрения электрическая сеть представляет собой комбинацию линий электропередач (ЛЭП) и трансформаторов, расположенных на подстанциях.

Линии электропередачи представляют собой металлический проводник, по которому протекает электрический ток. В настоящее время практически везде используется переменный ток. В большинстве случаев электроснабжение является трехфазной.

Недостатками воздушных линий являются широкая полоса отчуждения и высокая уязвимость. Основным преимуществом транспортировки электроэнергии по кабелю является отсутствие широкой трассы. Кроме того, такие линии намного лучше защищены от внешних воздействий, чем воздух. Основным недостатком передачи

электроэнергии по кабельным линиям является высокая цена и недоступность проверки их состояния.

Основной проблемой при транспортировке электроэнергии являются технологические потери. Потеря электрической энергии происходит из-за того, что электрический ток, протекающий по проводам, нагревает их.

Ключевые слова: электроэнергия, передача, потеря электрической энергии.

Кабель по сути своей является сложной конструкцией, т.е. совокупностью нескольких слоев. Опора несущая – это спираль из нержавеющей стали, окруженная медным проводом и нержавеющей сталью, обмотанная медной лентой. Он принимает механические нагрузки и служит основой для укладки сверхпроводящих волокон.

Рабочая температура сверхпроводящих кабелей должна составлять от 6 до 20 К, что возможно только при использовании хладагента (который может быть жидким, газообразным и даже в твердом состоянии). Холодильный агрегат, который при кипении (испарении, плавлении, сублимации) отводит тепло от охлаждаемого изделия и передает его в охлаждающую среду после сжатия путем конденсации или другого фазового перехода (вода, воздух и т. д.) жидкого гелия. Это позволяет увеличить приток тепла снаружи в кабель. Поэтому конструкция практически всех сверхпроводящих кабелей характеризуется двумя ступенями охлаждения. На первой стадии используется жидкий азот, на второй – жидкий гелий.

Разработаны СПКЛ (сверхпроводящий кабель) с напряжением 10–140 кВ и мощностью передачи 50–600 МВА. Использование СПКЛ снижает потери передаваемой мощности до 0,3 %, тогда как энергия расходуется только на поддержание низких температур. Это означает, что один сверхпроводящий кабель может передавать столько же энергии, сколько могут передать 10–20 обычных кабелей.

Кабели ВТСП (высокотемпературные сверхпроводники) имеют два вида: кабели ВТСП с холодным диэлектриком (CD) и кабели ВТСП с горячим диэлектриком (RTD).

В холодном диэлектрическом кабеле (рис. 1, 2) кабельный элемент окружен коаксиальным сверхпроводящим слоем, предназначенным для экранирования магнитного поля. Диэлектрик, «пропитанный» жидким азотом, расположен между проводящим сердечником материала ВТСП и внешним экранирующим слоем. Преимуществом этой конструкции является возможность устранения потерь переменного тока, вызванных влиянием магнитного поля, создаваемого токами в соседних фазах и вихревыми токами, индуцированными в металлических частях соседнего оборудования.

Рис. 1. Конструкция ВТСП-кабеля с холодным диэлектриком (CD): 1, 2 – жидкий азот; 3 – ВТСП-токопроводящая жила; 4 – Диэлектрик; 5 – ВТСП-экран; 6 – Криостат; 7 – Оболочка

Рис. 2. Конструкция трехжильного ВТСП-кабеля с холодным диэлектриком

Для кабелей с теплым диэлектриком (рис. 3) такой сверхпроводящий слой отсутствует. Эта конструкция требует меньшего расхода сверхпроводящего материала, так как используются обычные изоляционные материалы, что значительно снижает стоимость. Поскольку тепло-диэлектрический кабель конструктивно аналогичен обычному кабелю, многие проверенные технологии могут быть использованы при изготовлении, монтаже и подключении. Однако кабель ВТСП с теплым диэлектриком уступает по своим техническим свойствам кабелю ВТСП с холодным диэлектриком.

Рис. 3. Конструкция ВТСП-кабеля с теплым диэлектриком (RTD): 1 – жидкий азот; 2 – ВТСП-токопроводящая жила; 3 – криостат; 4 – диэлектрик; 5 – экран и оболочка

Кабели ВТСП обладают значительными преимуществами по сравнению с традиционными кабелями: большая пропускная способность при использовании класса с более низким номинальным напряжением с меньшими потерями, меньшим весом и меньшей компактностью; защита от пожара; экологичность и т.д.

Учитывая преимущества кабелей ВТСП и интенсивность исследований и разработок в области технологий ВТСП, мы должны

предположить, что в ближайшем будущем кабели ВТСП будут все чаще использоваться для подачи электроэнергии в крупные мегаполисы и энергоемкие комплексы. Заменив традиционные кабелей, можно увеличить передаваемую мощность, снизить пожароопасность и уменьшить вред экологии, а также появляется возможность передачи электрической энергии от крупных электростанций и преодоления водных барьеров.

Источники

1. Wedepohl L.M., Wilcox D.J. Transient analysis of underground power transmission systems. System model & wave-propagation characteristics // Proc. Inst. El. Eng. 1973. Vol. 120, № 2. Pp. 253–260.
2. Кадомская К., Крамаренко В., Ширковец А. Методика определения продольных погонных параметров сверхпроводящих кабелей высокого напряжения // Энергоэксперт. 2010. № 1. С. 15–18.
3. Development of High-Tc Superconducting Power Cable / Shin'ichi Mukoyama [et al.] // Furukawa Review. 2003. № 23. P. 82–87.

УДК 621.31

ПРЕИМУЩЕСТВА КИНЕТИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

А.Р. Холикова[1], Т.И. Петров[2]

[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]zagrudnaya@bk.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Р.Р. Хуснутдинов

Аннотация. В настоящее время актуальной задачей в сфере электроэнергетики является эффективное использование электрической энергии. Одним из путей решения данной задачи – использование различных накопителей электроэнергии. Современные системы накопителей способны не только хранить и преобразовывать энергию, а еще и выравнивать графики нагрузки в сети, сглаживать колебания мощности, обеспечивать бесперебойным питанием особо важных объектов и многое другое.

В данной работе будут рассмотрены аккумуляторные батареи и накопители, использующие кинетическую энергию вращения маховика (НКЭ).

Как известно, аккумуляторные батареи обладают малой энергоемкостью. Однако литий-ионные аккумуляторы, имея высокую энергоемкость, получили незначительное распространение из-за взрывоопасности. Со временем было разработано новое поколение этого вида с целью сохранения своего главного преимущества.

НКЭ значительно отличаются от своего «соперника» высокой удельной объемной энергоемкостью, они экологически безопасны, имеют высокую удельную мощность, просты в эксплуатации и не нуждаются в специальных защитных сооружениях.

Ключевые слова: накопители энергии, энергоемкость, аккумуляторные батареи, маховик, заряд, кинетическая энергия.

В работе рассмотрены аккумуляторные батареи и НКЭ. Оба из видов накопителей имеют свои плюсы и минусы. Но наиболее важным вопросом является, какой же вариант экономичнее в использовании, и, конечно, эффективнее.

Сравнивая оба варианта в среде Matlab, были сделаны выводы в пользу кинетических накопителей электроэнергии, так как НКЭ являются наиболее «гибкими» системами, отличающимися своими значительными преимуществами от других видов накопителей. Не во всех случаях использование НКЭ может быть целесообразно со стороны экономики, но в большинстве случаев эти накопители могут стать выгодным решением.

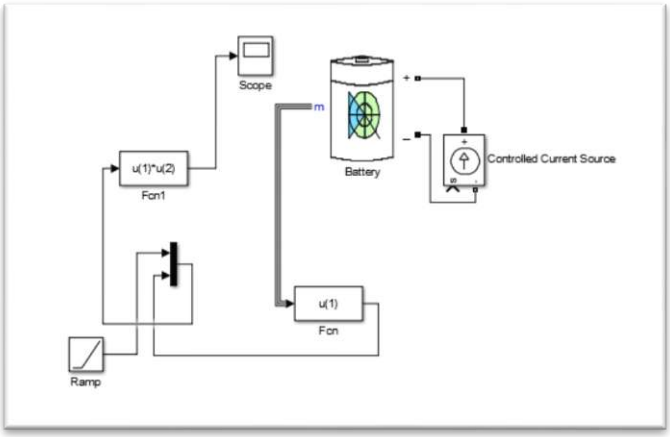


Рис. 1. Модель АКБ в Simulink

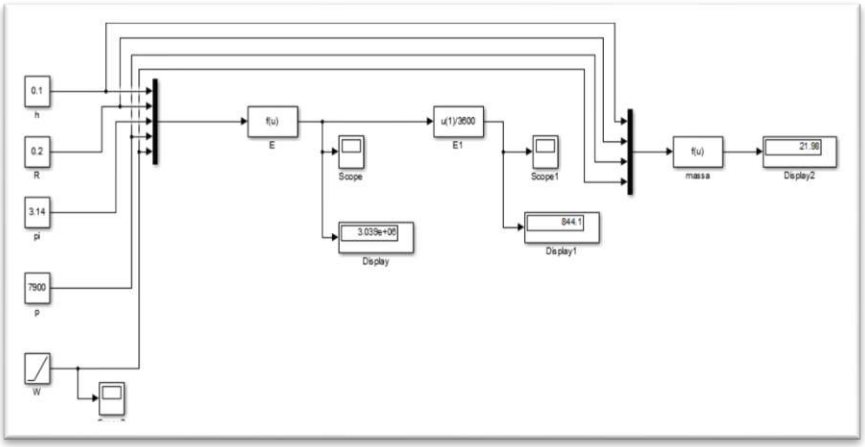


Рис. 2. Модель расчета параметров маховика

Рассчитаем суммарные затраты, возникающие в процессах передачи и преобразования энергии, которые приведут к получению зарядки накопителя в объеме 7 кВт·ч (или в системе СИ – 25 МДж). Срок рассчитываемого процесса примем 20 лет. На рис. 3 представлена модель,

на рис. 4 – график потерь, из которого делаем вывод, что в этом аспекте кинетические накопители гораздо экономичнее.

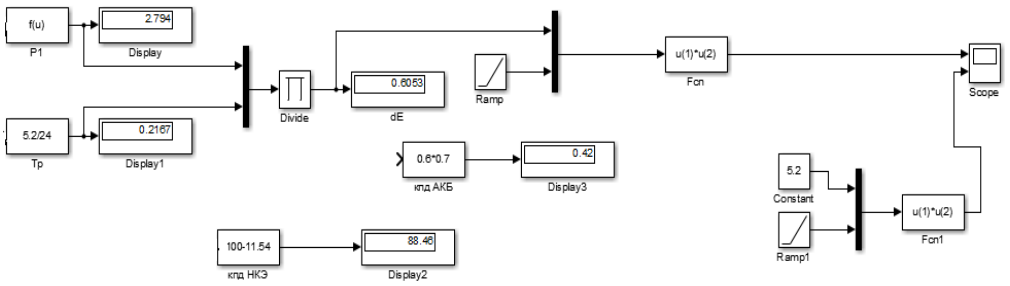


Рис. 3. Модель для расчета потерь процесса заряда-разряда КНЭ и АКБ

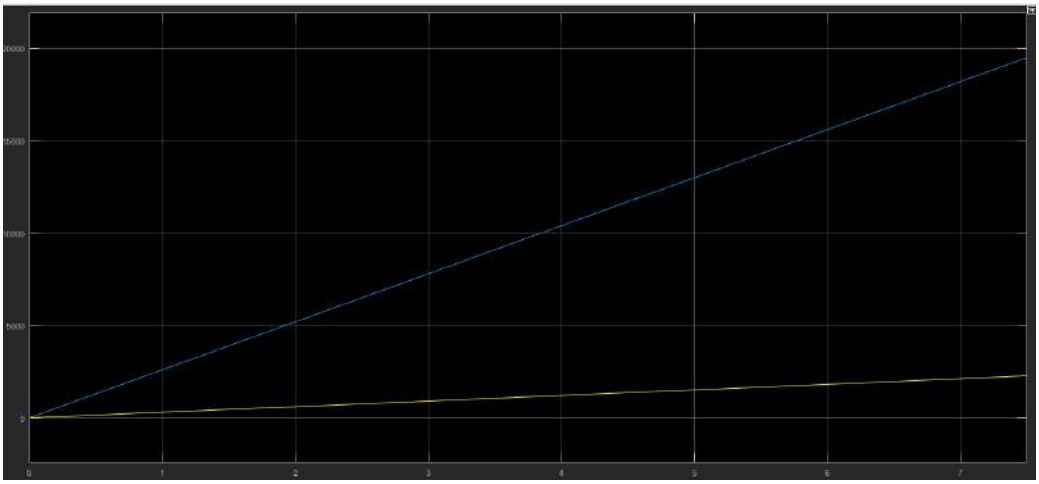


Рис. 4. График потерь процесса заряда-разряда КНЭ и АКБ

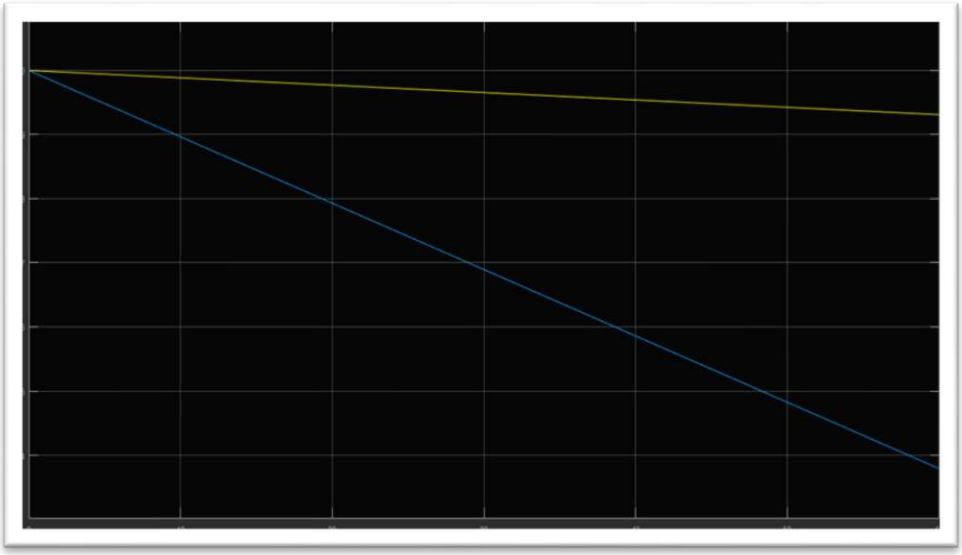


Рис. 5. График потерь при состоянии покоя КНЭ и АКБ

Из рис. 5 можем сделать два следующих вывода: за минуту в процессе разрядки в состоянии покоя у КНЭ составило 0,6 %,

а у АКБ – 0,1 %; потери в КНЭ существенно больше, чем в АКБ, вследствие того, что энергия запасается механически.

Таким образом, была разработана и выполнена модель КНЭ в Matlab. Исследованы возможности использования готового блока АКБ. Проведены сравнения по потерям энергии в процессе зарядки и разрядки, данный расчет переведен Matlab. На основе готовых моделей произведен расчет потерей в процессе разрядки в состоянии покоя.

Источники

1. Джента Дж. Накопление кинетической энергии. Теория и практика современных маховичных систем / пер. с англ. Н.М. Жмудь, В.Л. Кулакова; под ред. Г. Г. Портнова М.: Мир, 1988. 428 с.
2. Гулиа Н.В. Инерционные аккумуляторы энергии. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1973. 239 с.
3. Пресс-релиз компании «Русский сверхпроводник» от 23 июля 2010 г.
4. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах: учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1989. 158 с.
5. Ледовский А.Н., Литвинов И.И., Новиков М.Э. Проблемы создания кинетических аккумуляторов электрической энергии // Электричество. 1978. № 3. С. 41–45.

УДК 621.311.04

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ОБЛАСТИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

К.С. Швец
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
shvets_ksenia@bk.ru
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук Н.В. Денисова

Аннотация. Данная работа посвящена изучению вопросов энергосбережения в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). ЖКХ – одна из основных отраслей, задача которой обеспечить надлежащий уровень социального комфорта и основных бытовых потребностей населения, поэтому организация энергосбережения в ней даст возможность существенно сократить затраты на электроэнергию и значительно сэкономить природные ресурсы.

Ключевые слова: энергосбережение, управление освещением, жилищно-коммунальное хозяйство, солнечные коллекторы, компенсатор реактивной мощности, гелиоколлектор.

Мероприятиями для многоквартирных домов, способствующих энергосбережению и повышению эффективности использования энергоресурсов, является замена ламп накаливания на энергосберегающие светильники; замена применяемых люминесцентных светильников в уличном освещении на светодиодные светильники; применение фото акустических реле для управляемого включения источников света в подвалах, технических этажах и подъездах домов; установка компенсаторов реактивной мощности; применение энергоэффективных циркуляционных насосов, частотно-регулируемых приводов; использование солнечных батарей для освещения здания; информирование жителей о состоянии электропотребления, способах экономии электрической энергии, мерах по сокращению потребления электрической энергии на обслуживание общедомового имущества.

Основное требование, предъявляемое в настоящее время к электрооборудованию – снижение уровня энергопотребления. Среди современных осветительных устройств все популярней становятся приборы со светодиодным элементом освещения, обладающие низким энергопотреблением, надежностью в работе и длительным сроком эксплуатации.

Светодиодные источники света стали еще более эффективными, благодаря использованию в конструкции датчика. Принцип его работы основан на автоматическом включении осветительного прибора по сигналу от датчика движения для освещения, когда в зоне его действия появляется какой-либо движущийся объект, и последующего выключения прибора спустя определенный интервал времени. Еще более технологичным решением являются светильники, оснащенные оптико-акустическим датчиком. Обе функции в совокупности обеспечивают повышенный уровень эффективности работы подобной техники. Исполнения с оптико-акустическим датчиком реагируют на малейшие изменения звукового фона, обеспечивая включение источника света при разнородных звуках. Это может быть скрип дверей, шаги, шелест пакета, звон ключей.

Применение подобных светодиодных светильников позволяет повысить удобство управления освещением и снизить общедомовые затраты, связанные с потреблением электроэнергии, которая поступает в систему освещения подъездов и других служебных помещений многоквартирного дома.

При современной экономической ситуации, росте цен на энергоносители, административном ограничении объемов их потребления особенно актуален вопрос применения возобновляемых источников энергии, в частности, использовании неиссякаемой энергии Солнца.

Крыши многоквартирных жилых домов позволяют разместить на них солнечные батареи, которые будут вырабатывать достаточно энергии для освещения мест общего пользования. В комплект солнечной электростанции входят следующие устройства: батареи, поглощающие энергию солнца, контроллер заряда-разряда АКБ, который следит за напряжением аккумуляторов, аккумулятор для накопления энергии и инвентора для преобразования 12 В в переменные 220 В, необходимые для освещения.

Посредниками передачи солнечной энергии в наш дом и служат солнечные коллекторы.

В наши дни солнечные водонагревательные системы используются в частных домах, многоквартирных зданиях, школах, автомойках, больницах, в сельском хозяйстве и промышленности. Во всех перечисленных заведениях используется горячая вода. Солнечные системы для нагрева воды являются экономически выгодными и способными удовлетворить потребность в горячей воде в любом регионе мира.

На рисунке представлена схема электроснабжения дома от солнечных батарей.

Схема электроснабжения дома от солнечных батарей

Изделие представляет собой солнечный тепловой коллектор (конвертор) с многокамерной системой теплопередачи, изготовленного из высокотехнологичных теплосберегающих материалов с учетом длины волны излучения Солнца, явления резонанса и тепличного эффекта.

Гелиоколлектор способен сэкономить до 80 % средств, направленных на оплату ГВС. Даже при отключении электроэнергии контроллер, имея автономный резерв электропитания, сохраняет все настройки, и коллектору это не вредит. После возобновления подачи

электроэнергии насос включается, и система продолжает работу. С точки зрения экономии денежных средств современные гелиоколлекторы позволяют полностью обеспечить нужды жильцов в горячей воде на протяжении 7–8 месяцев в году, а в остальное время подогревают воду до 30 °С, существенно снижая расход газа.

Солнечное автономное электроснабжение – это независимость от качества работы централизованных электросетей, от непредсказуемых скачков цен на электрическую энергию, от роста стоимости топлива для бензиновых или газовых генераторов и от любых других проблем, связанных с традиционной электрогенерацией.

Источники

1. Осветительные установки промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: ФГБОУ ВО «КГЭУ», 2016. 206 с.
2. Грачева Е.И., Денисова Н.В., Иванов В.О. Энергосбережение: монография. Казань: ФГБОУ ВО «КГЭУ», 2012. 296 с.
3. Сидоренко С.Р., Денисова Н.В. Проектирование осветительных установок: учеб. пособие. Казань: ФГБОУ ВО «КГЭУ», 2004. 92 с.

УДК 62-519. 65.011.56

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

С.К. Шубина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sofiashubina678@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук А.Г. Логачева

Аннотация. Современные тенденции в развитии энергетической отрасли и, в частности, направление цифровизации требует разработки унифицированных систем для оперативного и ситуационного управления, а также стратегического прогнозирования на уровне регулятора отрасли. Данная статья посвящена рассмотрению типовой системы оперативно-технологического, ситуационного и производственного управления объектами электроэнергетики. В основу разработки заложены основные подходы, методы и требования теории иерархических многоуровневых, многоцелевых и многоэшелонных систем.

Ключевые слова: автоматизированная система, система мониторинга, техническая система, сбор информации, регулирование, энергетика.

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2030 г. одной из основных стратегических задач топливно-энергетического комплекса является повышение уровня отраслевой автоматизации.

Существующие автоматизированные системы предприятий ТЭК имеют собственные базы данных чаще всего с уникальной структурой и моделью организации, хранения и представления информации, а также собственные пользовательские интерфейсы и отчетность.

При исследовании в данной области нами были рассмотрены следующие автоматизированные системы, применяемые и применявшиеся в промышленности и в энергетике:

– GE Digital Twin – система, предусматривающая подход, когда для физического объекта – единицы оборудования или целого процесса, создается цифровой аналог – математическая модель, которая в дальнейшем используется для анализа и поведения объекта;

– экспертная система мониторинга «ЭСМДУ-ТРАНС» – предназначена для контроля технического состояния трансформаторного оборудования в процессе эксплуатации, формирования диагностических, предупреждающих и аварийных сообщений, ведения баз данных, передачи информации о техническом состоянии оборудования в АСУ ПС;

– автоматизированная система удаленного мониторинга на базе SCADA/HMI DataRate – автоматизированная система удаленного мониторинга водогрейных котельных;

– ABB Transformer Electronic Control (TEC) – система имеет встроенный мониторинг температуры, токов и РПН, в том числе совершенных тепловых моделей как для трансформатора, так и РПН;

– Winnum CNC – решение для удаленного мониторинга и диагностики оборудования с ЧПУ, построенное на основе уникального российского программного комплекса Winnum;

– Siemens Transition-minimized differential signaling (TMDS) обеспечивает мониторинг и диагностику трансформаторов на одной или нескольких подстанций. Предоставляет рекомендации по техническому обслуживанию для устранения ненормальной работы трансформаторов;

– Siemens Power Diagnostics® Services (PDS) система мониторинга и диагностики турбин и генераторов;

– ПРАНА – система мониторинга и диагностики газовых турбин и генераторов ООО РОТЭК;

– ИОАСУ-Энергия – интегрированная автоматизированная система управления производственно-хозяйственной деятельностью электроэнергетической отрасли РФ.

Как уже говорилось, указанные системы имеют базы данных, структура которых различна, хранение и представление информации в них также различно. Обмен данными между различными системами либо не организован, либо требует дополнительных затрат на доработку каждой

из систем и организацию общего интерфейса. Внедрение каждой новой системы, а часто и новой функции имеющейся системы требует значительных финансовых затрат на адаптацию всех сопряженных систем и баз данных.

Для оперативного и ситуационного управления, а также стратегического прогнозирования на уровне регулятора отрасли требуется разрозненная информация со всех субъектов отрасли, при этом структурированная под определенные операционные и стратегические задачи. В настоящее время в целях государственного управления и регулирования электроэнергетикой применяются информационно аналитические системы, использующие преимущественно статистические данные, обладающие низким уровнем оперативности, достоверности и связности за счет человеческого фактора [1].

Таким образом, существует насущная необходимость в пересмотре применяемых подходов к построению и использованию информационных систем в энергетической отрасли с целью повышения оперативности, гибкости, достоверности используемой информации.

Нами был разработан базис для создания типовой системы оперативно-технологического, ситуационного и производственного управления объектами электроэнергетики, а также в дальнейшем – для составления программ технического перевооружения и ремонтов.

В основу разработки заложены основные подходы, методы и требования теории иерархических многоуровневых, многоцелевых и многоэшелонных систем, к которым относится отрасль электроэнергетика [2], представляющая собой сложную иерархическую многоуровневую и многоцелевую социотехническую систему, а также основанных на ней прикладных разработок в области электроэнергетики [4].

Описание структуры объектов управления технической системы энергетики рассмотрено в разрезе полной цепочки производства и потребления электрической энергии (ЭЭ) и тепловой энергии (ТЭ), которая состоит из следующих звеньев:

– технические системы поставщиков (поставка топлива, сырья, материалов, оборудования для выработки тепловой и электрической энергии);

– технические системы энергетики (выработка ЭЭ и ТЭ, преобразование ЭЭ и передача ЭЭ и ТЭ);

– технические системы потребителей (потребление ЭЭ и ТЭ).

На каждом уровне управления происходит информационный обмен между техническими системами энергетики с техническими системами поставщиков и потребителей, формирование данных, которые обобщаются и передаются в вышестоящие технические системы, то есть каждый

вышестоящий объект управления оперирует агрегированными данными, необходимыми для реализации управленческих воздействий на данном уровне управления. Техническая система РФ в разрезе энергетической отрасли состоит из следующих объектов управления:

– производственные комплексы ЭЭ и ТЭ;

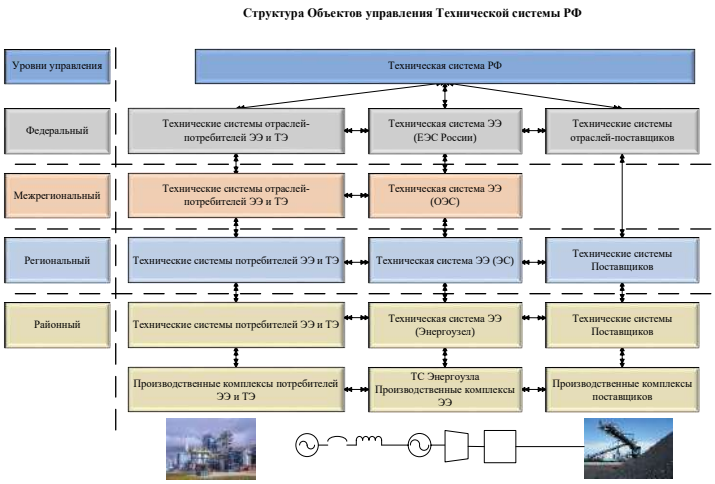
– энергоузел;

– энергосистема;

– объединенная энергосистема (ОЭС);

– единая энергетическая система России (ЕЭС).

Структура объектов управления технической системы РФ представлена на рисунке.



Структура объектов управления технической системы энергетики

Элементы системы выделены, исходя из того, что:

– каждый из них на своем уровне для целей отрасли выполняет полезную функцию, либо производит полезный продукт;

– состояние каждого определяет качество и эффективность выполнения полезной функции и производства полезного продукта;

– выполнением полезной функции и изменением состояния каждого можно управлять;

– результаты функционирования, изменения состояния и деятельности по управлению можно оценить количественно и качественно.

Предложенное представление позволяет рассматривать техническую систему электроэнергетики в качестве исключительно машинной системы по переработке первичной энергии в электрическую и тепловую.

Для построения архитектуры системы, схемы и правил взаимодействия в рамках единого индустриального интернета необходимо учитывать следующие принципы [3]:

– централизация и иерархичность – подчиненность субъектов низшего уровня верхним и перевод части управленческих бизнес-процессов на более высокий уровень управления;

– непрерывность цепочки создания продуктов – последовательность преобразования сырья, поставляемого из технических систем поставщиков, в энергетические ресурсы, передаваемые потребителям;

– многоуровневость – наличие различных уровней системы единого индустриального интернета, направленных на сбор, анализ, преобразование сигналов информации о состоянии оборудования в управленческие воздействия, направленные на достижение целей субъектов системы.

Источники

1. Белов В.С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения: учеб. пособие, руководство, практикум. М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2005. 111 с.
2. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1982. 319 с.
3. Месарович М., Макои Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем / под ред. Г.С. Поспелова. М.: Мир, 1973. 343 с.
4. РД 34.08.101. Основные научно-технические требования к созданию интегрированной отраслевой автоматизированной системы управления Минэнерго: утв. и введен в действие Министерством энергетики и электрификации СССР от 25 мая 1989 г.

УДК 621.316.728

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРНЕТА ЭНЕРГИИ

Н.В. Шумский[1], П.А. Шрамко[2]

[1,2] НГТУ, г. Нижний Новгород

[1,2]pavel.shramko.97@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук Е.Н. Соснина

Аннотация. Статья посвящена принципиально новому подходу к построению систем электроснабжения в рамках концепции «Энергетический интернет». Рассмотрены основные положения концепции и вопросы интеграции информационных технологий в электроэнергетику. Определены технические проблемы создания

Интернета энергии. Показана необходимость разработки устройства регулирования потоков мощности и исследования его влияния на электрическую сеть.

Ключевые слова: энергетический интернет, энергетическая ячейка, активный потребитель, управление спросом, управление мощностью.

Одним из перспективных направлений развития энергосистемы России является переход к интеллектуальной энергосистеме с активно-адаптивной электросетью [1]. Предполагается, что в недалеком будущем сотни миллионов людей будут использовать возобновляемые источники (ВИЭ) для производства электроэнергии в частных домах, офисах и на фабриках, а также делиться ею друг с другом по электрической сети аналогично сети Интернет. Возможность интеграции информационных технологий в энергетический сектор обусловила создание новой концепции «Энергетический Интернет» (IoE) [2].

Концепция берет свое начало от активно развивающегося рынка технологий Интернета вещей (IoT), элементы которого используется при разработке распределенных энергетических систем. Примером взаимодействия технологии IoT и IoE является использование интеллектуальных датчиков тока, напряжения, различного рода сенсоров для реализации таких механизмов IoE как мониторинг потоков мощности, распределенное хранение электроэнергии и интеграция ВИЭ [3].

В качестве одного из лидеров внедрения IoE можно рассматривать Японию [4]. Помимо многообразия стартапов, связанных с различными способами локальной генерации, государство способствует ускоренному развитию IoE либерализацией розничного рынка электроэнергии. Таким образом, был узаконен новый тип поставщиков энергии, имеющих собственные локальные источники. Данный шаг способствовал появлению экономических взаимоотношений в логике IoE, инфраструктурной основой которых станут группы локальной генерации в домохозяйствах.

Активным участником перехода к IoE является Германия, в которой реализуется платформа под названием Enyway. Enyway обеспечивает прямую торговлю электроэнергией, выработанную на основе ВИЭ между физическими лицами [5]. Эту программу удалось реализовать после изменений в немецком законе о ВИЭ, позволивших продавать возобновляемую электроэнергию напрямую с сохранением, при этом рыночной премии продавца зеленого электричества.

Внедрение концепции IoE подразумевает организацию электрических и информационных связей на основе peer-to-peer взаимодействия между пользователями для их совместного участия в рынке электроэнергии, оказания системных услуг, таких как продажа (поставка) электрической энергии, участие в управлении режимом,

контроль уровня напряжения и частоты и любые другие виды услуг, которые создаются в электроэнергетике [6].

Объединение компактно расположенных пользователей в группы приведет к образованию концептуально нового участника сети – энергетической ячейки (рис. 1) [2].

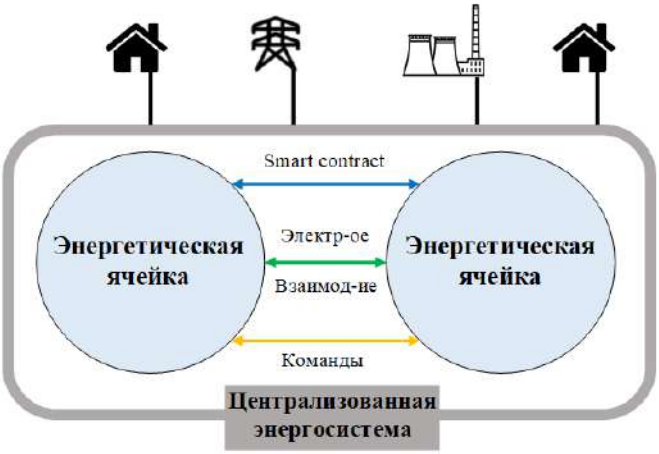


Рис. 1. Взаимодействие энергетических ячеек и распределительной сети в IoE

В общем случае энергетическую ячейку можно описать как группу пользователей и пул их энергетического оборудования, сконцентрированных на локальной территории и имеющих прочные внутренние электрические и информационные связи. Все взаимодействия между пользователями внутри ячеек имеют динамический характер, то есть существует возможность изменять свои роли в зависимости от потребностей. Сама ячейка приобретает функцию суперпользователя с возможностью продажи и выкупа, хранения и передачи электроэнергии между пользователями, которые в этом нуждаются.

Независимо от состава и своей внутренней структуры все энергетические ячейки также связаны между собой и взаимодействуют друг с другом как единое целое, осуществляя при этом электрическое, финансово-договорное и информационное взаимодействие, что позволяет в полной мере сравнивать IoE с Интернетом.

Во многих публикациях на тему IoE можно встретить три основные технологии (рис. 2), на которых и будет выстраиваться дальнейшее развитие: транзакционная энергия (TE), Интернет вещей и Нейронные сети (NG) [3, 7].

Транзакционная энергия – обеспечивает информационную взаимосвязь между пользователями, заключающими peer-to-peer смарт-контракты для реализации коммерческих отношений на основе цифровых сервисов.

Интернет вещей обеспечивает возможность выстраивать мультиагентное управление энергосистемами для регулирования режима передачи электроэнергии и его параметров с целью экономической оптимизации работы энергосистемы.

Нейронная сеть обеспечивает статическую и динамическую устойчивость энергосистемы за счет автоматического регулирования первичным балансом мощности.

Вышеперечисленные технологии включают в себя и новые для нынешней энергетики типы потребителей: просьюмеры и активные потребители.

Просьюмеры – продвинутые пользователи, способные рационально потреблять и делиться излишками электрической энергии, вырабатываемой их локальными электростанциями на основе ВИЭ, с другими пользователями, а также осуществлять хранение электроэнергии.

Активные потребители – участники потребительского рынка электроэнергии, способные управлять своим спросом в зависимости от изменения цен во времени с целью потребления по наиболее выгодным ценам.

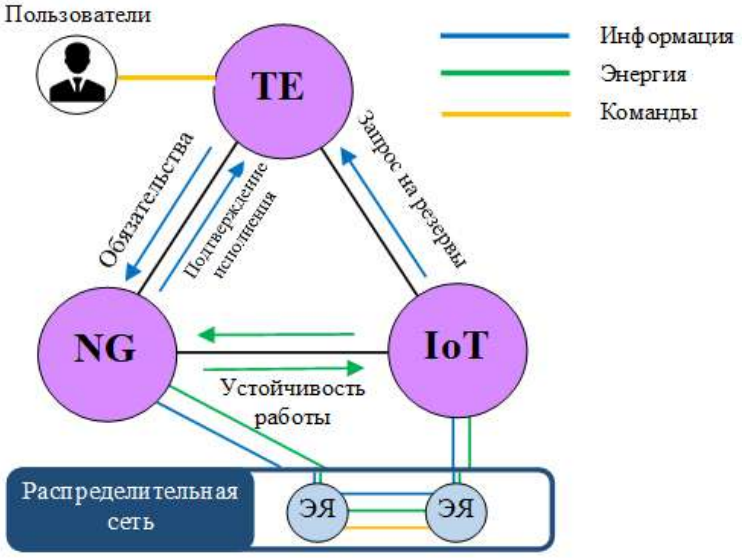


Рис. 2. IoE как функционирующая система: TE – транзитивная энергия; NG – нейронная сеть; IoT – Интернет вещей; ЭЯ – энергетическая ячейка

Внедрение энергетических ячеек сделает управление потоками мощности в сети среднего напряжения 6–20 кВ более функциональным, появится возможность активно осуществлять перетоки мощности, представленные на рис. 3:

1. Двунаправленная передача (продажа) электроэнергии между энергетическими ячейками или внешней распределительной электросетью.

2. Передача (продажа) электроэнергии от источников распределенной генерации накопителям электроэнергии, активным и пассивным потребителям или самой энергетической ячейке.

3. Передача (продажа) излишков электроэнергии от собственных источников просьюмеров другим потребителям, накопителям электроэнергии или самой энергетической ячейке.

4. Передача (взаимное резервирование) между просьюмерами.

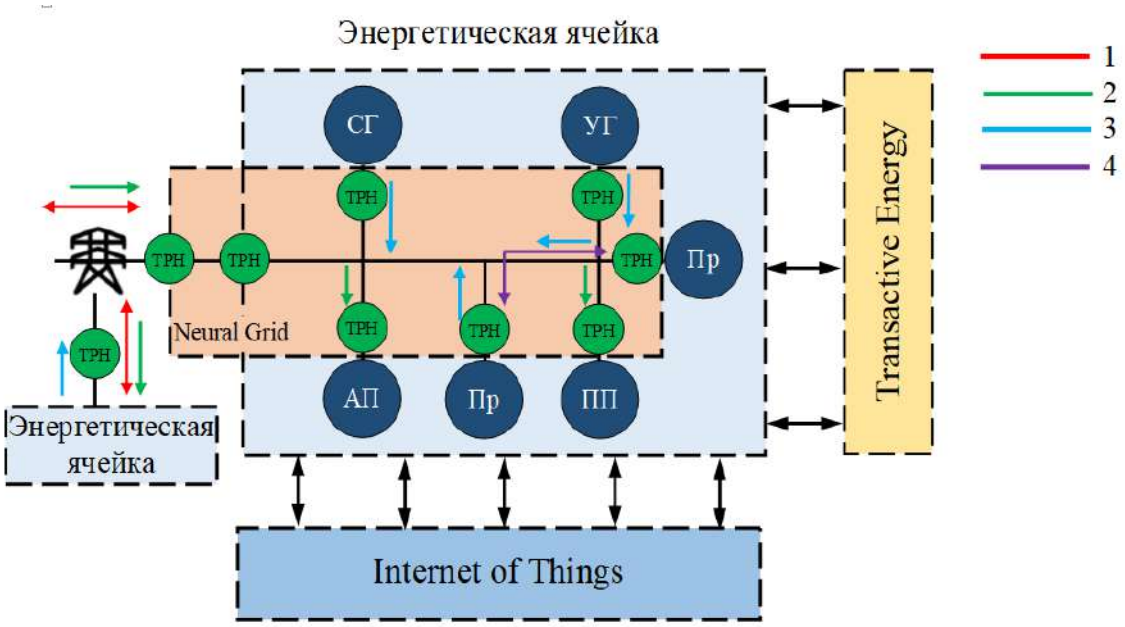


Рис. 3. Энергетическая ячейка с возможными перетоками мощности:
ТРН – тиристорный регулятор напряжения; СГ – стохастический генератор;
УГ – управляемый генератор; Пр – просьюмер; АП – активный потребитель;
ПП – пассивный потребитель

Функционирование энергосистемы осуществляется обеспечением свободных двусторонних перетоков электроэнергии между энергетическими ячейками и распределительной сетью, а функционирование энергетических ячеек – обеспечением свободных двусторонних перетоков между пользователями.

Данное требование выполнимо с использованием устройства активно-адаптивного контроля мощности, представляющего собой энергетический аналог привычного нам маршрутизатора сети Интернет. Данное устройство позиционируется как базовое устройство энергетического интернета, осуществляющее взаимодействие пользователей внутри ячейки, а также соседних энергетических ячеек на уровне энергетического и информационного обмена с их интеграцией в электрические сети более высокого класса напряжения [8]. Устройство

также должно иметь систему управления с возможностью интеграции в информационную сеть для приема и передачи сигналов управления и для задания наиболее подходящего режима работы сети.

Для предотвращения технологического отставания России в области IoE необходимо рассмотреть технические решения, способные осуществлять управление потоками мощности в сети среднего напряжения на основе уже имеющихся или разрабатываемых электротехнических устройств.

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева разрабатывается экспериментальный образец такого устройства – тиристорный регулятор напряжения (ТРН), выполненный на основе сериесного и шунтового трансформаторов с системой управления на тиристорных ключах. ТРН объединяет в себе функции РПН и фазоповоротного устройства и может использоваться для эффективного управления потоками мощности в интеллектуальных распределительных электрических сетях различной конфигурации [9–12].

Тем не менее, существует ряд задач, которые необходимо решить перед внедрением устройства в IoE. Необходимо определить влияние устройства на электрическую сеть, в которой оно установлено. Для этого требуется произвести расчеты различных режимов электрической сети с целью выявления наиболее эффективных параметров устройства для каждого конкретно взятого случая.

Рассмотрим участок сети с источником, ЛЭП и нагрузкой, на котором установлен ТРН (рис. 4).

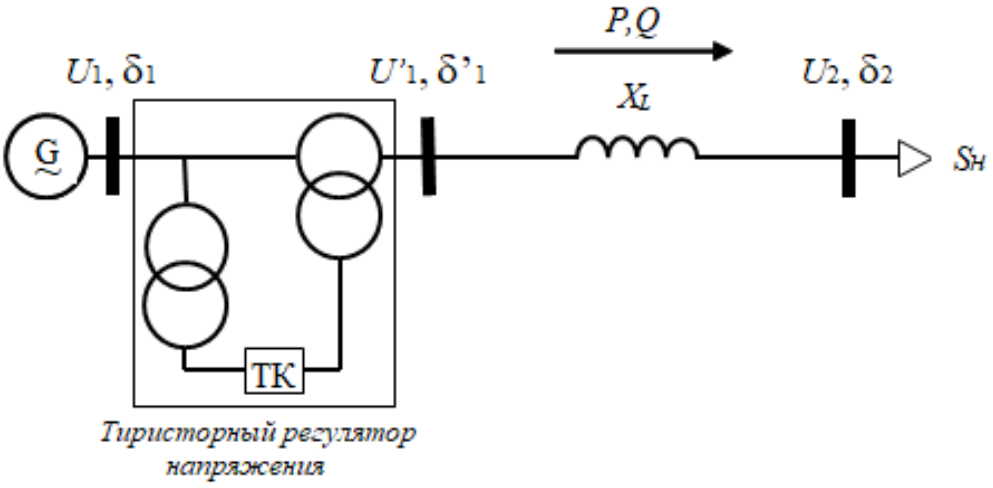


Рис. 4. Участок сети IoE с ТРН

Регулирование величиной активной P и реактивной Q мощности можно описать следующими выражениями:

$$P_{12} = 3\left|U_1^{'}\right|\left|U_2\right|\sin\left(\delta_1^{'} - \delta_2\right)/ X_L, \quad (1)$$

$$Q_{12} = 3\left|U_1^{'}\right|^2 - \left|U_1^{'}\right|\left|U_2\right|\cos\left(\delta_1^{'} - \delta_2\right)/ X_L, \quad (2)$$

где U_1, $U_1^{'}$, U_2 – напряжение на шинах источника, тиристорного регулятора напряжения и нагрузки, соответственно; δ_1, $\delta_1^{'}, \delta_2$ – фазовый угол вектора напряжения на шинах источника, тиристорного регулятора напряжения и нагрузки, соответственно; X_L – сопротивление линии электропередач.

Из (1) видно, что на регулирование активной мощности P значительное влияние оказывает управление углом δ, зависящего от реактивного сопротивления ЛЭП и задающего угла тиристорного регулятора напряжения. В то же время, основным фактором регулирования реактивной мощности Q, исходя из (2), является увеличение амплитуды напряжения на выводе тиристорного регулятора напряжения $U_1^{'}$.

На рис. 5 показан принцип регулирования потоками мощности с помощью ТРН на участке сети IoE, рассматривается вариант продольно-поперечного регулирования, создающего вольтодобавку для изменения напряжения на шинах источника U_1 в $U_1^{'}$.

На рис. 5, б изображена векторно-топографическая диаграмма рассматриваемого участка сети, а также изменение напряжения на некоторую величину ΔU из-за сопротивления элементов в линии, приводящего к тому, что напряжение непосредственно у потребителя достигает значения U_2.

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \Delta\dot{U} + \dot{U}, \quad (3)$$

$$\dot{U}_{\text{В}} = \dot{U}_{\text{прод}} + \dot{U}_{\text{попер}}, \quad (4)$$

где U_1, U_2, – напряжение на шинах источника и нагрузки, соответственно; ΔU – падение напряжения в линии; $U_{\text{прод}}$, $U_{\text{попер}}$, – продольная и поперечная добавка напряжения регулирующим устройством; $U_{\text{в}}$ – результирующая добавка напряжения.

Таким образом, осуществляя продольно-поперечное регулирование, представляется возможным регулирование активной и реактивной мощности.

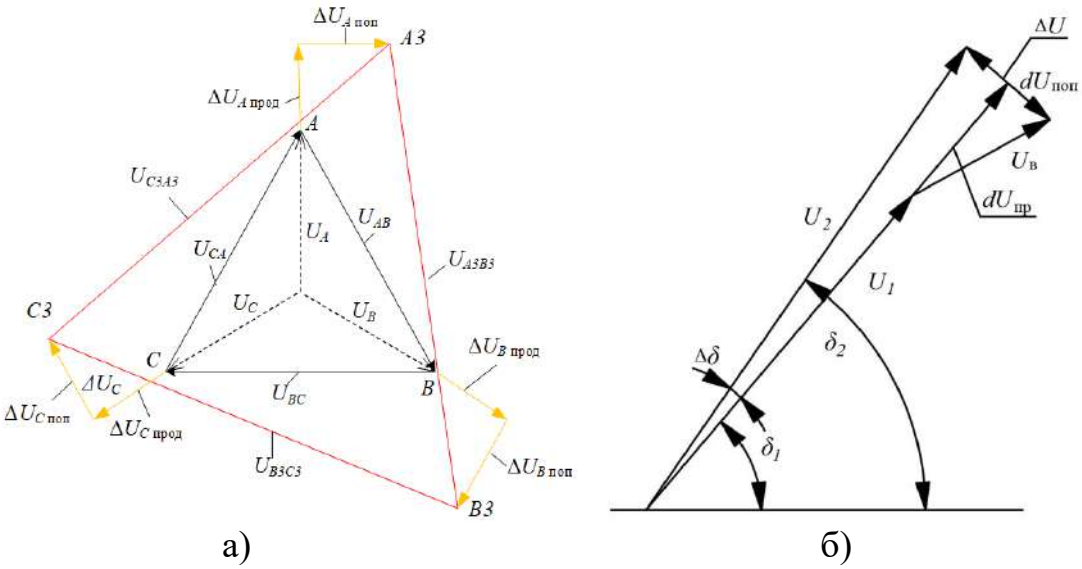


Рис. 5. Принцип вольтодобавки: а) векторно-топографическая диаграмма продольно-поперечного регулирования напряжения тиристорным регулятором напряжения; б) векторно-топографическая диаграмма регулирования напряжения тиристорным регулятором напряжения на участке сети

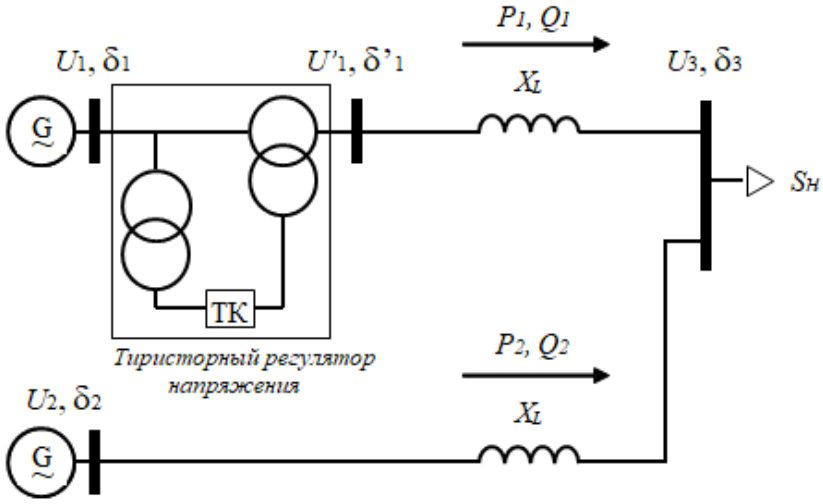


Рис. 6. Пример участка сети IoE с тиристорным регулятором напряжения, нагрузкой и двумя источниками электроэнергии

На рис. 4, 6 и 7 приведены три случая применения ТРН на участках сети в рамках энергетической ячейки. Рассмотрим подробнее каждую из схем.

На рис. 4 присутствует один источник электроэнергии и один потребитель. Благодаря регулирующему устройству, возможно задать такой режим работы сети, при котором потребителю будет передаваться либо строго определенная мощность, либо осуществляться вариативное изменение во времени, в зависимости от нагрузки и различных внешних факторов.

На рис. 6 изображены два источника. Регулирование режима сети будет осуществляться с целью выбора источника потребителем. Например, выдача максимальной мощности солнечной электростанцией в период, когда ее КПД максимальный – ясная погода, следовательно, стоимость электроэнергии – минимальная.

На рис. 7 рассматривается случай, когда от одного источника питаются несколько потребителей. Задачей ТРН является перераспределение в процентном соотношении отдаваемой мощности от источника между потребителями.

В ходе изучения публикаций становится очевидным, что в будущем развитие энергетического сектора будет тесно связано с концепцией IoE. Для реализации IoE необходимо решить ряд административных и технологических задач, а именно: модернизировать рыночные отношения в энергетике, внедрить новые электротехнические и информационные решения, которые в данный момент либо отсутствуют, либо находятся на стадии разработки.

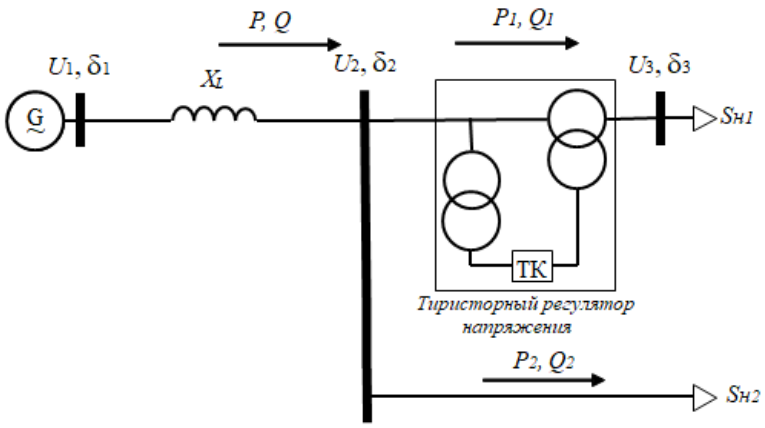


Рис. 7. Пример участка сети IoE с тиристорным регулятором напряжения, двумя нагрузками и источникам электроэнергии

Одним из первых шагов на пути реализации концепции IoE является разработка устройства управления потоками мощности в сети среднего напряжения. Для этого необходимо произвести расчеты потокораспределения энергосети IoE (естественного и с регулирующим устройством), что позволит определить параметры устройства, а также разработать алгоритмы выбора оптимальных значений вольтодобавки. Также необходимо разработать адаптивную систему управления и определить, по каким информационным каналам данное устройство будет управляться и взаимодействовать с остальными пользователями энергетической ячейке и за ее пределами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 14.577.21.0242 о предоставлении субсидии от 26.09.2017, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0242).

Источники

1. Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 336 с.

2. Основные положения концепции интеллектуальной энерго-системы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс]. М., 2012.. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf (дата обращения 12.10.2018).

3. Холкин Д. Архитектура интернета энергии: три в одном [Электронный ресурс]. URL: https://medium.com/internet-of-energy/87224da0b72b (дата обращения: 12.10.2018).

4. Холкин Д. Интернет энергии с японским колоритом [Электронный ресурс]. URL: https://medium.com/internet-of-energy/88e88a2ac94 (дата обращения: 12.10.2018).

5. Сидорович В. AirBnB энергетического рынка? Прямые продажи ВИЭ электроэнергии [Электронный ресурс]. URL: https://renen.ru/ (дата обращения: 15.11.2018).

6. Гуркин Ю., Семенов Ю. Файлообменные сети P2P: основные принципы, протоколы, безопасность [Электронный ресурс] // Сети и системы связи. 2018. URL: http://www.ccc.ru/index.html (дата обращения: 15.11.2018).

7. Burgess M. What is the Internet of Things? [Электронный ресурс] // Wired. 2018. URL: https://www.wired.co.uk/ (дата обращения: 15.11.2018).

8. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Шумский Н.В. Разработка энергороутера – базового элемента «энергетического интернета // Наука. Мысль. 2017. Т. 7, № 5. С. 22–27.

9. Тиристорный регулятор величины и фазы вольтодобавочного напряжения в распределительных электрических сетях 6–10 кВ // Е.Н. Соснина [и др.] // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. ст. Н. Новгород, 2017. С. 132–136.

10. Ахметшин А.Р., Федотов А.И. Применение вольтодобавочных трансформаторов для повышения качества электроэнергии у потребителей РЭС 0,4–10 кВ // Состояние и перспективы развития электротехнологии

(XVIII Бенардосовские чтения): матер. Междунар. науч.-техн. конф. Иваново, 2015. С. 170–173.

11. Гардин А.И., Савельев И.А. Исследование работы фазоповоротных устройств в электрических сетях среднего напряжения // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. ст. Н. Новгород, 2017. С. 191–195.

12. Экспериментальные исследования физической модели устройства регулирования потоков мощности / А.А. Асабин [и др.] // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. ст. Н. Новгород, 2016. С. 5–12.

УДК 621.311

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ РЕЛЕ И КОНТРОЛЛЕРОВ

И.И. Яруллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
il.sur@bk.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Цветков

Аннотация. В статье описано построение систем автоматического ввода резерва с применением программируемых логических реле и программируемых логических контроллеров. Отмечены сравнительные преимущества и недостатки различных систем, принципы построения.

Ключевые слова: автоматический ввод резерва, программируемое логическое реле, программируемый логический контроллер, программное обеспечение.

Даже современная система электроснабжения с большим количеством ответвлений, узлами преобразования и распределения энергии не всегда отличается абсолютной надёжностью. В случаях возникновения аварийных ситуаций без энергии могут остаться потребители, у которых длительный перерыв в электроснабжении может привести к большим материальным потерям и даже к угрозе жизни людей. Поэтому в административном секторе, в быту и на производстве с целью повышения надежности электроснабжения необходимо организовать питание от нескольких источников электроэнергии с их независимой работой, то есть каждый источник должен работать только на свою секцию шин или находиться в «горячем» резерве. При возникновении аварии на одном из источников автоматика переводит потребителей на другой источник. Такая система называется автоматический ввод резерва (АВР).

Её работа заключается в полностью автоматическом подключении цепей электрооборудования потребителей от резервного источника питания в случае отключения основного, при этом переключение происходит фактически мгновенно и не требует участия оперативного персонала.

Главная задача системы автоматического ввода резервного питания – это быстрое восстановление электроснабжения без участия в этом процессе человека. На больших подстанциях всегда имеется два ввода на две разделённые секционным выключателем секции распределительного устройства, работающие автономно друг от друга. Согласно ПУЭ (правила устройства электроустановок) автоматическое подключение резервного питания и снабжение на 2 ввода являются обязательной мерой обеспечения электричеством потребителей первой категории.

Принцип действия АВР основан на контроле напряжения в цепи. Это может осуществляться с помощью любых реле напряжения либо цифровых логических блоков защиты. Однако принцип работы всё рано остаётся неизменным.

Основными требованиями, предъявляемыми к системам АВР, являются:

– быстродействие;

– надёжность включения;

– подача напряжения только если на участке нет короткого замыкания, то есть обязательно должна быть блокировка при КЗ;

– однократность срабатывания;

– возможность настройки порога включения резервного электроснабжения, чтобы она не срабатывала, например, при просадках напряжения вовремя запуска мощных электродвигателей;

– срабатывание только при условии, если на резервном вводе есть электроэнергия.

Естественно что простейшая схема на контакторах не сможет реализовать все предъявляемые требования к системе АВР. Для этого в современной электронике применяются логические системы, подающие сигнал на включение резервного источника питания только при соблюдении всех правил и блокировок. Также для дополнительной надёжности часто применяется механическая блокировка.

Важное влияние на технические и функциональные параметры АВР оказывает система управления. Основные функции системы управления АВР – контроль наличия напряжения на вводах, управление коммутационными аппаратами и резервным генератором. Дополнительно система управления может обеспечивать сигнализацию, мониторинг

и дистанционное управление. В качестве элементной базы для систем управления могут применяться схемы на основе реле, специализированные блоки управления и программируемые логические контроллеры. Схемы на логических реле выгодно использовать для несложных схем АВР. Однако с ростом требований к функциональным возможностям, количество реле в схеме значительно возрастает. С одной стороны, это приводит к росту габаритов и стоимости системы, а с другой – снижает надёжность. Для упрощения разработки систем управления АВР, различные компании предлагают свободно программируемые логические блоки с управлением реверсивными выключателями нагрузки и автоматическими выключателями. Преимущество таких блоков заключается в том, что все внутренние соединения и программирование выполнены в заводских условиях и протестированы. При этом свободно программируемые логические реле сопровождаются программным обеспечением, позволяющим пользователю скорректировать логику работы устройства или создать полностью новую систему с требуемой логикой. Эти решения сопровождаются документацией, включающей готовые принципиальные схемы и подробные руководства. Все элементы находятся в общем корпусе с высокой степенью защиты со стороны панели управления. Блоки управления позволяют настраивать все необходимые параметры АВР.

Для реализации наиболее сложных схем АВР предпочтение следует отдать программируемым логическим контроллерам (ПЛК). Они позволяют реализовать самые широкие возможности и гибкую реализацию основных функций системы управления для всех вариантов схем и типов силовых аппаратов. При этом дополнительные функции изменение настроек или алгоритма управления чаще всего не требуют применения дополнительного оборудования. Некоторым ограничением к применению ПЛК является необходимость для изготовителя электроустановки с АВР в квалифицированном специалисте по программированию ПЛК.

Основным отличием ПЛК от логических реле является свобода применения алгоритмов, позволяющих производить измерения и вычисления параметров, а также ведения архива событий. Программа для ПЛК пишется с применением стандартных языков программирования. Логические реле имеют ограничения в применении стандартных блоков, предлагаемых производителем в поставляемом программном обеспечении. Эти логические блоки имеют ряд ограничений в настройке параметров входных и выходных величин.

В целом применение устройств автоматизации управления системами АВР позволяет отказаться от сложной структуры релейной

логики, сократить количество элементов и повысить надежность системы, создавать универсальные системы с минимальным количеством настроек и возможностью изменения логики.

Источники

1. В.М. Батенина, В.В. Бушуева, Н.И. Воропая. Инновационная электроэнергетика – 21. М.: ИЦ «Энергия», 2017. 584 с.

2. URL: https://www.schneider-electric.ru/ru/work/products/product-launch/smart-panels/overview.jsp (дата обращения: 12.10.2018).

Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

УДК 621.316.97

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Д.А. Василец[1], А.А. Тишков[2]
[1,2]ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург
[1,2]danil.vasiletz@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Павленок

Аннотация. В настоящей статье приведен анализ существующих сетей уличного освещения, проведенный на основании исследований систем наружного освещения северных городков Мурманской области. Показаны предположения по внедрению мероприятий по снижению затрат на эксплуатацию сетей наружного освещения по средством внедрения систем автоматического управления.

Ключевые слова: системы наружного освещения, автоматическая система управления, экономия электроэнергии.

Сети уличного освещения являются существенной частью структуры коммунального хозяйства любого населенного пункта. Особую роль уличное освещение приобретает в городках, расположенных в северных районах нашей страны, особенно в условиях полярной ночи. Современные сети уличного освещения – это энергоемкие объекты, правильное построение которых важно для их эффективной работы, рационального использования и минимизации потерь энергоресурсов.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с эксплуатацией сетей наружного освещения на примере малых северных населенных пунктов. Приведены типы и технические характеристики источников света, используемых в осветительных установках, а также рассмотрены схемы управления наружным освещением, имеющие наибольшее распространение на настоящий момент. В качестве исходных данным использованы результаты обследования населенных пунктов Мурманской области. В работе даны рекомендации по организации управления наружным освещением с предложением схем управления в зависимости от подключаемой нагрузки.

Постоянно растущие тарифы на электроэнергию и особенности функционирования и жизнедеятельности северных городков делают систему наружного освещения (СНО) весьма затратной для бюджета таких

населенных пунктов, к примеру изменение тарифа относительно предыдущего 2015 г. составило 4,12 % [5]. Однако без наружного освещения в темное время суток в современных условиях обойтись невозможно. Это связано с обеспечением безопасности передвижения населения, технологическими процессами, необходимостью поддержания и наведения порядка на улицах и ещё множеством причин. В результате этого нашей основной целью стало определение возможности снижения затрат на эксплуатацию систем наружного освещения путем поиска и внедрения современных технологий с учетом особенности жизнедеятельности северных городков. На основании проведённого обследования были определены наиболее распространённые источники света, применяемые в сетях наружного освещения этого региона. К ним относятся:

– освещение жилой и административной территории, оно выполнено преимущественно светильниками РКУ-250 с источниками света лампы ДРЛ-250 мощностью 250 Вт. Необходимо отметить, что данный тип ламп уступает по своим светотехническим характеристикам большинству современных источников света;

– часть уличного освещения, которая организована на основе светильников Ladled-320 со светодиодными источниками света на 100 Вт;

– территории причалов, освещающиеся посредством 22 метровых мачт с прожекторами PG-1500 и источниками света на основе галогенных ламп мощностью 1500 Вт;

– освещение стадиона и спортивных площадок, выполненное светильниками РКУ-400 с источниками света лампами ДРЛ-400 мощностью 400 Вт;

– фасадное освещение, оно выполнено лампами накаливания 60–95 Вт;

– освещение площадных территорий, которое выполнено осветительными установками ДКСТ-20000 с источником света ксеноновой лампой мощностью 20000 Вт. Как показала практика, данный тип ламп не выдерживает частых отключений – включений при температуре окружающей среды ниже –30 °С, это приводит к большим перерасходам энергии в климатических условиях Крайнего Севера.

Сравнительные технические характеристики источников света и область их применения сведены в таблицу.

В настоящее время на 20 % всех обследованных схем систем управления установлены фотореле либо решения на их основе, как правило, выполненные кустарным способом. На основе этого можно

сделать определенный вывод, что в данном регионе в системе управления наружным освещением преобладает человеческий фактор.

Сравнительные технические характеристики источников света

Внешний вид	Технические характеристики	Область применения
Лампа накаливания Б230-75		
	Мощность: 75 Вт Световой поток: 800 лм Срок службы: 1000 ч Рабочий диапазон температур: до –30 °С	Освещение въездов в автомобильные боксы и входов в здания и складские помещения
Лампа накаливания Б-230-95		
	Мощность: 95 Вт Световой поток: 1250 лм Срок службы: 1000 ч Рабочий диапазон температур: до –30 °С	Освещение въездов в автомобильные боксы и входов в здания и складские помещения
Лампа энергосберегающая КЛЛ 23		
	Мощность: 23 Вт Световой поток: 1350 лм Срок службы: 8000 ч Рабочий диапазон температур: до –30 °С	Освещение въездов в автомобильные боксы и входов в здания и складские помещения
ДРЛ-250		
	Номинальная мощность: 250 Вт Световой поток: 13500 лм Срок службы: 10000 ч Рабочий диапазон температур: –30 °С	Фасадное освещение зданий Освещение проездов Освещение охраняемых зон
ДРЛ-400		
	Номинальная мощность: 400 Вт Световой поток: 24000 лм Срок службы: 15000 ч Рабочий диапазон температур: –30 °С	Освещение больших площадных территорий (стадион, хоккейная площадка)
Ladled-320		
	Напряжение питания: 90–265 В Потребляемая мощность: 165 Вт Световой поток: 17800 Лм Срок службы: 100 000 ч Рабочий диапазон температур: –50 °С	Освещение проездов

ДРВ-250		
	Номинальная мощность: 250 Вт Световой поток: 4700 лм Тип цоколя: Е40 Срок службы: 3000 ч Рабочий диапазон температур: –30 °С	Освещение автомобильных боксов
Прожектор PG-1500 с лампой R7s		
	Номинальная мощность: 1500 Вт Световой поток: 32000 лм Срок службы: 2000 ч Рабочий диапазон температур: –30 °С	Освещение открытых территорий
КГ-5000		
	Номинальная мощность: 5000 Вт Световой поток: 127000 лм Срок службы: 2000 ч Рабочий диапазон температур: – от 60 °С	Освещение открытых территорий
Лампа ксеноновая трубчатая высокого давления типа ДКсТ20000-2		
	Номинальная мощность: 20000 Вт Напряжение зажигания: 360 В Световой поток: 694 клм Наработка не менее: 2000 ч Температура окружающей среды от – 30 °С Особенность: лампа работает в непрерывном режиме, предназначена для освещения площадей, карьеров, больших территорий	Освещение открытых территорий

Целью исследования является оценка эффективности внедрения нового класса автоматизированных систем управления, обеспечивающих повышение эксплуатационной эффективности небольших комплексов наружного освещения, основанное на внедрении эффективных технических решений. Наши исследования мы проводили на примере систем наружного освещения городков Мурманской области. Они позволили выявить ряд проблемных вопросов малых городков северных районов. Наиболее значимые из них:

– сети освещения малых городков, им свойственно наличие большого количества групп осветительных приборов малой суммарной мощностью, рассредоточенных к тому же по большой площади;

– преобладание в зимнее время очень низких температур, порядка –30 ^{o}С и ниже, что негативно влияет на эффективность и срок службы источников света;

– малая продолжительность светлого времени суток в зимнее время (1–3 часа в сутки), что приводит к увеличению влияния со стороны человека при ручном управлении уличным освещением.

В крупных городах России проживает 36,9 % от всего населения России, 37,3 % – в малых населённых пунктах и 25,8 % – в сельской местности [1]. Исходя из этого видно, что многие населенные пункты нуждаются в автоматической системе управления наружным освещением с экономичной и простой реализацией. Реальным способом экономии является четкое соблюдение графика включения-отключения освещения, такую задачу решает ввод автоматизированной системы управления (АСУ) наружным освещением на основе фотореле и магнитного пускателя. Уличное освещение без системы АСУ включается и выключается на данный момент с большими разбросами по времени. Это обусловлено тем, что в них используются ручное управление, при этом присутствует человеческий фактор, а именно, непрогнозируемое поведение человека, который самовольно может изменить график работы уличного освещения. Применение фотореле отчасти устраняет такую проблему, как включение, которое производится при снижении уровня естественной освещенности до 20 лк, а отключение – при ее повышении до 10 лк [6].

В результате проведенного технического обследования были выработаны общие рекомендации по возможной модернизации систем уличного освещения с минимальными затратами.

Исходя из выделенных проблемных вопросов, можно сформулировать основные направления совершенствования системы эксплуатационного содержания сетей наружного освещения:

1) освещение входов зданий и сооружений целесообразно осуществлять местными выключателями, установленными в непосредственной близости от источников света, при этом управление должно производиться в ручном режиме в соответствии с «Графиком включений-отключений сети наружного освещения». Исходными данными для составления графика может служить Постановление администрации близлежащих населённых пунктов. Также управление одиночными светильниками или группой светильников суммарной мощностью до 1 кВт целесообразно осуществлять посредством фотореле;

2) управление освещением проездов и больших площадных территорий с суммарной нагрузкой осветительной сети от 1 кВт и выше

целесообразно выполнять посредством типовых щитов с возможностью автоматического/ручного управления.

Наиболее простым и наименее затратным способом управления наружным освещением является организация в непосредственной близости от мест его подключении постов автоматического управления, монтаж АСУНО с заменой светильников с лампами ДРЛ на ДНаТ, монтаж АСУНО с заменой светильников с лампами ДРЛ на светодиодные. Предложенные решения реализованы городках Мурманской области, однако они также могут найти своё применение во множестве малых населённых пунктах на всей территории России. Также надежными и простыми являются схемы управления, построенные на базе магнитных пускателей и фотореле. В зависимости от управляемой нагрузки стоимость комплекта начинается от 1500 р. Реализация самой простой схемы автоматического управления при мощности группы светильников 1 кВт может дать полную окупаемость через год. Расчетный экономический эффект при реализации в сетях наружного освещения, включающего в себя 130 светильников РКУ-250, используемых в сетях наружного освещения, дал расчетную экономию в денежном эквиваленте согласно действующим тарифом ОАО «МРСК Северо-Запада» по Мурманской области 79718 руб./г. [6], при этом расчетный срок окупаемости составил 3,5 года (см. рисунок).

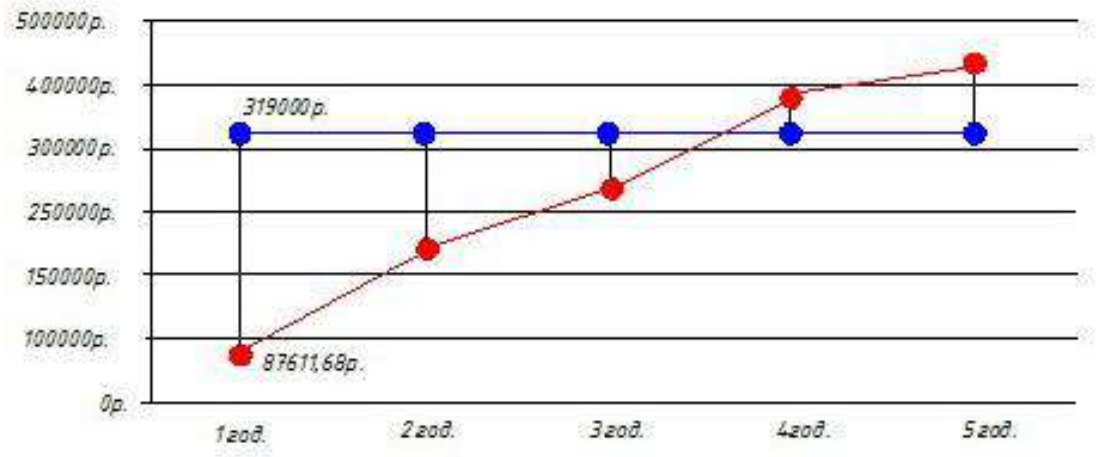


График окупаемости от внедрения АСУНО

Также экономическая эффективность внедрения и эксплуатации АСУНО с помощью фотореле и магнитного пускателя обусловлена следующими факторами:

– включение и отключение освещения, исходя из реального уровня естественной освещенности, учитывающее текущую протяжённость светового дня и погодные факторы;

– экономия на «ресурсе» осветительных ламп за счет уменьшения суммарного времени горения;

– экономия на обслуживание, транспортные расходы, увеличения сроков эксплуатации оборудования.

Результатом выполненной работы стали рекомендации по необходимому комплексу мероприятий с целью повышения энергетической эффективности систем наружного освещения малых населенных пунктов. Полученные результаты основываются на результатах обследования существующих сетей наружного освещения, анализа применяемых средств управления и оптимизации по экономическому критерию возможных мероприятий. Главным выводом работы можно сделать заключения, что в малых населенных пунктах нецелесообразно применение опыта крупных городов в сфере управления уличным освещением, т.к. окупаемость некоторых из них превышает срок службы отдельных элементов рассматриваемых систем, и наоборот простые решения дают максимальный и наиболее быстрый эффект в условиях малых населенных пунктов.

Источники

1. Отчет НИР Организация внедрения метода автоматического управления в сетях наружного освещения военных городков п. Печенга, п. Спутник, п. Оленья Губа / А.А. Тишков [и др.]. СПб ВИ(ИТ) ВА МТО, 2015.

2. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Моркнига, 2018. 584 с.

3. СН 541-82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских поселений [Электронный ресурс]. URL: https://dokipedia.ru/document/5182538 (дата обращения: 21.01.2019).

4. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 21.01.2019).

5. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2010 г. № 783. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 21.01.2019).

6. Сторожев С.В., Павленок А.М., Тишков А.А. Разработка системы автоматического управления в сетях наружного освещения // Завалишинские чтения – 2016: сб. докл. СПб., 2016. С. 189–191.

УДК 621.311.04

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ УСТРОЙСТВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПЛАТ ARDUINO

А.В. Гагулин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alexdenton78x@gmail.com
Науч. рук. канд. пед. наук Р.Р. Закиева

Аннотация. В работе рассмотрены особенности прошивки контроллеров ARDUINO, при помощи которых осуществляется управление маломощными лазерными станками с числовым программным управлением, собранными своими руками. Проанализировано программное обеспечение, необходимое для геометрического моделирования с последующей разработкой управляющей программы и передачи данных на станок. Использовались только те программы и плагины, которые распространяются свободно.

Ключевые слова: ARDUINO, лазерный станок с ЧПУ, CAD/CAM/CAE-система, плагин, управляющая программа, CorelDraw, Inkscape, JTP Laser Tool.

Современное высокотехнологичное производство нельзя представить без лазерного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Несмотря на широкий ассортимент предлагаемого оборудования, обратим внимание на два обстоятельства: это высокая стоимость (150–500 тыс. рублей за портативный гравер считается низкой ценой) и немалая мощность (40–120 Вт и более при относительно безопасной мощности 0,5 мВт). Из-за высокой стоимости и повышенной опасности представленного на рынке лазерного оборудования его основными потенциальными покупателями становятся промышленные предприятия, а не широкий круг частных лиц или учебных заведений. Наиболее популярный способ решения проблемы, актуальной для данной группы пользователей, – это изготовление лазерного станка своими руками. Рассмотрим подробнее устройство управления таким станком и программное обеспечение, необходимое для его работы.

Поскольку условным прототипом для спроектированного мини-станка являлся станок реальный, рассмотрим устройства управления, заменяющие основные узлы и агрегаты реального лазерного гравера. Так, на роль стойки ЧПУ был выбран контроллер Arduino Uno R3 CH340 (рис. 1) с платой расширения CNC Shield v3.0 (рис. 2), специально разработанный для управления устройствами с ЧПУ.

Данный выбор обоснован рядом причин: платы компактны, имеют стандартное и хорошо себя зарекомендовавшее программное обеспечение,

а также низкую цену. Реальный станок может работать как в автономном режиме от бортового компьютера, так и управляться по сети. Автономный режим не интересен, поскольку требует установки дисплея и ограничен в возможностях, поэтому рассмотрим только сетевой режим.

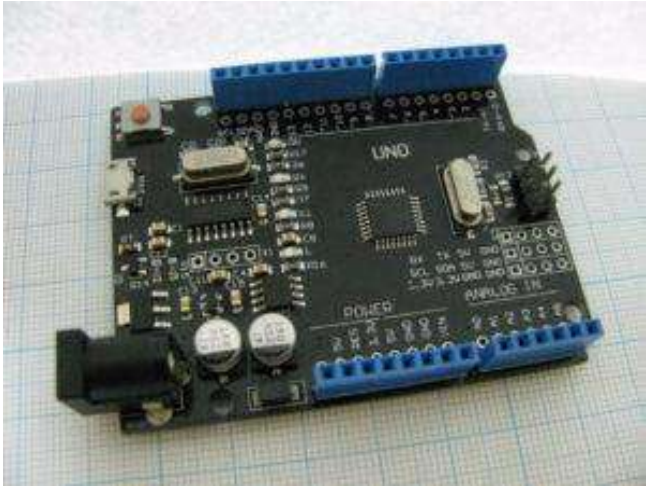


Рис. 1. Контроллер Arduino Uno R3 CH340

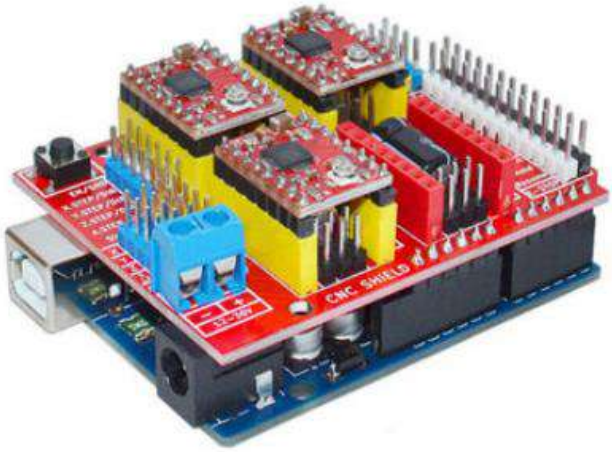


Рис. 2. Плата расширения CNC Shield v3.0

Внешним компьютером может быть любой ноутбук, на который кроме программы GRBL для обмена данными с Arduino нужно установить графический редактор для создания изображений, а также постпроцессор (G-code), формирующий управляющую программу из картинки, которая затем передается на станок. В принципе, можно использовать любую CAD/CAM/CAE-систему, но, как это ни странно, наиболее адаптированными оказались не инженерные САПР (Pro/E, SW), а дизайнерские графические редакторы. Производители рекомендуют CorelDraw и Benbox,

но их постпроцессоры явно недоработаны, а Benbox, кроме того, имеет весьма неудобный интерфейс, поэтому выбор был остановлен на Inkscape – бесплатной программе векторной графики с плагином-постпроцессором JTP Laser Tool, формирующим управляющую программу. Изображения, полученные при помощи Inkscape, показаны на рис. 3.

Требования, предъявляемые к векторному графическому файлу, не отличаются от традиционных инженерных: не должно быть скрытых и двойных линий, желательно избегать разрывов и прочих нежелательных для ЧПУ геометрических дефектов изображений, приводящих к браку.

Рис. 3. Изображение, полученное в Inkscape (автор неизвестен)

Рекламируемая и достаточно известная программа LaserGRBL, формирующая управляющую программу из растрового изображения, но она подходит для более мощных фабричных станков. В нашем же случае получается нечеткое изображение либо (при гравировке крупной картинки или картинки с высоким разрешением) происходит сбой ЧПУ.

В заключении отметим, что данная разработка может использоваться радиолюбителями, дизайнерами, модельерами, любителями прикладного творчества, а также учебными заведениями в качестве лабораторного оборудования – она проста в эксплуатации, безопасна и недорога.

Источники

1. Мазеин П.Г., Ахметов М.Р., Сайфутдинов С.Р. Применение станков лазерной резки: учеб. пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 106 с.

2. Мазеин П.Г. Станки с компьютерным управлением: учеб. пособие / П.Г. Мазеин [и др.]. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 42 с.

3. Свиридов С.Н., Мазеин П.Г. Моделирование имитаторов станков с компьютерным управлением // Прогрессивные технологии в машиностроении: темат. сб. науч. тр. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. С. 90–94.

4. URL: https://www.prostanki.com/kazan/nastolnyiy-lazernyiy-graver.html (дата обращения: 17.02.2019).

5. URL: http://markakachestva.ru/aliexpress/1534-luchshie-lazernye-gravery-s-aliekspress.html (дата обращения: 17.02.2019).

УДК 621.311

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Т.Г. Галиева[1], Д.А. Иванов[2], Д.А. Ярославский[3]
[1,2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2,3]79534929817@ya.ru
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук М.Ф. Садыков

Аннотация. В настоящее время в связи со значительной протяженностью воздушных линий электропередач и увеличением аварийных ситуаций становятся всё более востребованы работы над технологиями в области увеличения надежности сетей. В данной работе проводится обзор методов и средств диагностики состояния линий электропередач (механический, магнитный, частотный, оптический, термодинамический, комбинированный). Рассматриваются их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: воздушные линии электропередач, диагностика, мониторинг, гололёдообразование, аварийные ситуации, методы диагностики, средства диагностики.

Воздушные линии электропередач являются наиболее аварийным элементом в составе единой технологической цепи снабжения потребителей электроэнергией. В Российской Федерации основной проблемой обрыва линий электропередач являются гололедно-изморозевые отложения. Причина незащищенности ВЛ от гололедно-ветровых аварий заключается в отсутствии эффективной информационно-измерительной системы мониторинга ВЛ.

Мониторинг линий производится вручную, с помощью осмотра линий бригадами техников. Помимо визуального осмотра существуют различные методы диагностики технического состояния ВЛ, классифицируемые по контролируемому параметру [1, 2]: механический,

магнитный, частотный (локационный), оптический, термодинамический (метеорологический), комбинированный.

Первый метод, который мы рассмотрим, является наиболее объективным в определении механической нагрузки на провод – механический метод. В данном методе измеряется вес пролетов провода ВЛ, и масса определённого участка обуславливается нагрузками от гололеда и ветра.

В механическом методе диагностики используются датчики двух видов: контактные и бесконтактные. Контактные датчики обладают рядом недостатков: сложная конструкция и ненадежность, вызванная наличием механических деталей, склонных истираться в процессе работы, а также многие датчики имеют плохую чувствительность в момент начала гололедообразования. Бесконтактные датчики в данном методе являются более надежными.

Кроме того, механические датчики являются неуниверсальными – каждый датчик необходимо настраивать вручную для каждой линии (длина пролета между опорами, диаметр и количество проводов в фазе, количество и габариты изоляторов).

Второй рассматриваемый метод – это магнитный. Имеется несколько вариаций исполнения устройств, работающих по принципу магнитного метода:

1) реакция на изменение магнитного поля провода при нарастании на нём гололёдных отложений (изменение фиксируется индукционным датчиком);

2) преобразование величины механических напряжений в ферромагнитных материалах в частоту следования прямоугольных электрических импульсов;

3) измерение гололедно-ветровой нагрузки на ВЛ. Устройства содержат магнитоупругий датчик силы, подвешенный между траверсой опоры и изоляторов с фазным проводом и контролирующим полную нагрузку на воздушную линию электропередачи.

Если параметры окружающей среды меняются, то датчик неверно определяют уровень гололедных отложений, так как измерение проводится непосредственно около устройства, а определить уровень гололедных отложений по всему пролету нет возможности.

В локационном методе импульсный сигнал подается на ВЛ, и замеряется время, за которое сигнал распространится вдоль линии, отразится от конца линии или высокочастотного заградителя и вернется в исходную точку. Локационный метод позволяет определить наличие и

уровень гололедных отложений на проводах ВЛ за счет сравнения времени распространения сигналов (или амплитуд отраженных сигналов) при наличии и при отсутствии гололеда на линиях. Метод имеет две используемые характеристики: снижение скорости и уменьшение амплитуды сигнала. Главным преимуществом метода является возможность расположения аппаратуры на подстанции и отсутствие необходимости установки на ВЛ различных устройства. Недостатком локационного метода является отсутствие возможности определения ветровых нагрузок на провод ВЛ.

В оптическом методе для построения систем регистрации и предупреждения возможности образования гололеда используют в устройствах в качестве датчиков оптическое волокно, по которому на фотоприемник поступает световой поток, испускаемый светопередатчиком. При наличии гололедных отложений световой поток слабый, при отсутствии – поток ослабляется незначительно.

Гололедные отложения на проводах ВЛ могут образовываться только при определенных условиях: температуре воздуха, влажности воздуха и снижении температуры провода ниже точки росы и точки десублимации. Термодинамический метод аналитическим путем прогнозирует образование гололеда с помощью измеренных параметров.

Метод имеет недостатки, выраженные в загруженности метода математическими вычислениями, необходимостью составления таблиц значений точек росы и точек десублимации для каждого конкретного участка местности, что затрудняет его использование.

В методе инклинометрии на основе измерения угла провиса, для измерения угла провиса используются датчики для измерения ускорения (акселерометры) либо датчики, непосредственно измеряющие угол (инклинометры). Часто в таких системах используются МЭМС-датчики. Такие датчики имеют высокую надежность и способность обеспечивать стабильные показания даже в жестких условиях окружающей среды.

Из рассмотренных методов определения гололеда одним из самых надежных методов является механический, но для точной его реализации необходимо вмешиваться в конструкцию линейной арматуры. Оптические и магнитные методы подвержены помехам от грязи и птиц и считаются малонадежными.

В связи с проведенным анализом с целью повышения надежности и достоверности предлагается разработка датчика мониторинга механических нагрузок ВЛ с применением нескольких методов: инклинометрический метод, локационный метод и термодинамический.

На данный момент учеными ФГБОУ ВО «КГЭУ» разработана и проходит опытную эксплуатацию система оперативного мониторинга технического состояния ВЛ [2, 3]. Система совмещает в себе два метода: метод угла провиса и метеорологический метод.

Устройствами системы проводятся измерения следующих параметров: температура провода и окружающей среды, относительная влажность воздуха, угол наклона устройства, угол поворота устройства вокруг оси провода, среднеквадратичное виброускорение, силу тока в проводе.

Увеличить достоверность имеющейся системы возможно с помощью локационного метода, который позволит проводить анализ условий распространения высокочастотного сигнала по проводам и тросам.

Источники

1. Панасенко М.В. Аналитический обзор способов и устройств мониторинга промежуточного пролета воздушной линии электропередачи // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-4. С. 572–576.
2. Ярославский Д.А. Система автоматизированного мониторинга гололедных отложений воздушных линий электропередач на основе инклинометрическо-метеорологического метода: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 135 с.
3. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры / Д.А. Ярославский [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 5-6. С. 89–97.

УДК 681.3:378.1

ОТЛАДОЧНАЯ ПЛАТА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРОЦЕССОРА СОБЫТИЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATmega128

Г.З. Галимов[1], А.Т. Мозес[2]

[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]galgalimov@gmail.com

Науч. рук. канд. пед. наук Л.В. Ахметвалеева

Аннотация. В данной работе представлена отладочная плата, входящая в состав программно-аппаратного комплекса по проектированию микроконтроллерных устройств. Плата предназначена для тестирования и исследования режимов работы встроенного модуля процессора событий микроконтроллера ATmega 128.

Ключевые слова: микроконтроллер, модуль таймера-счетчика, процессор событий, средства отладки, макетирование аппаратных средств.

Использование современных микроконтроллеров в системах управления и контроля обеспечивает исключительно высокие показатели эффективности при низкой стоимости. У микроконтроллеров практически нет альтернативы для построения цифровых автоматизированных систем.

Проектирование микроконтроллерных систем является сложным процессом, сочетающим в себе решение схемотехнических вопросов и задач, связанных с разработкой программного обеспечения. С целью реализации таких задач значительную актуальность приобретает разработка методов и подходов к построению универсальных лабораторных практикумов для изучения микроконтроллеров и систем на их основе.

Важным элементом любого микроконтроллера является система обработки прерываний. Современные микроконтроллеры имеют более сложные системы прерываний как внешние, так и внутренние. Источниками прерываний служат встроенные процессоры событий, таймеры, компараторы, аналого-цифровые преобразователи, любой последовательный канал, система управления EEPROM.

При проектировании микроконтроллерных устройств применяются различные методы и средства отладки. Одним из подходов к процессу разработки, исследования и отладки микропроцессорных устройств является применение технологии макетирования аппаратных средств [1].

Рассматриваемый нами лабораторный стенд предназначен для практического изучения микроконтроллеров ATmegal28 фирмы Atmel. Для питания платы требуется нестабилизированный источник напряжения +9..+15 В / 300 мА, возможно использование стандартного сетевого адаптера.

На плате установлен микроконтроллер ATmegal28, имеющий возможность внутрисхемной загрузки Flash памяти программ. Загрузка внутренней памяти программ (Flash) и энергонезависимой памяти данных (EEPROM) производится через разъем XP2. Для загрузки используется кабель программирования AVR Prog. Кабель подключается к персональному компьютеру через COM-порт. В процессе загрузки линии портов микроконтроллера, используемые для этой цели, отключаются от разъемов. В качестве коммутатора использована микросхема CD4066.

Отладочная тестирующая плата является модернизацией комплекта оборудования для обучения проектированию и программированию систем управления на базе микроконтроллера ATmega128, подключается через

14-ти контактный разъем лабораторного стенда Starter Kit. Связь с компьютером и управление режимами отладки осуществляется через микроконтроллер, благодаря чему при отладке программы отсутствуют ограничения в использовании внутренних ресурсов микроконтроллера, функционирование отлаживаемой системы становится контролируемой, произвольно управляемой и модифицируемой по требованиям разработчика [2].

Отладочная плата представляет собой программно-аппаратные средства поддержки для исследования режимов работы модулей таймера/счетчика или процессора событий микроконтроллера ATmega128. В микроконтроллерных системах модули таймера/счетчика являются одним из важнейших периферийных устройств. Поскольку современные автоматизированные системы работают в режиме реального времени, при выполнении задач управления всегда возникает необходимость реализации временных функций, отсчета, приема и выдачи управляющих сигналов в заданные интервалы времени. Процессоры событий используются для формирования различных временных интервалов, формирования прямоугольных импульсов заданной частоты, также могут работать в режиме счетчика и подсчета тактовых импульсов заданной частоты, анализировать и измерять длительность внешних сигналов [3].

Отладочная плата предназначена для тестирования отсчета заданных временных интервалов, формирования цифровых сигналов, цифровых последовательностей, режима входного захвата (Capture), режима сброса при совпадении (CTC) процессора событий микроконтроллера ATmega128 и для отображения результатов исследований. Отладочная плата состоит из блока формирования импульсов, блока светодиодной индикации и блока переключения режимов.

Отладочная тестирующая плата может быть применима как для изучения возможностей процессора событий, формирования начальных навыков программирования, так и при разработке и исследовании более сложных систем с использованием процессора событий ATmega128.

Предлагаемый нами тестирующий комплекс представляет собой программно-аппаратные средства для исследования режимов работы процессора событий или встроенного модуля таймера/счетчика микроконтроллера ATmega128. В состав отладочного комплекса входят блок управления режимами работы микроконтроллера и плата для отображения результатов исследования и тестирования, состоящая из блока светодиодной индикации, включающей в себя линейку светодиодов и многоразрядный семисегментный индикатор.

Созданный отладочный комплекс облегчает процесс формирования начальных навыков программирования систем реального времени, обработки прерываний, а также применим для исследования и отладки отдельных модулей микроконтроллерных устройств. Достоинством такого подхода является наглядность принципов реализации возможностей микроконтроллера, а также простота формирования и модернизации подключаемых внешних устройств.

Источники

1. Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р., Кулагина Л.Г. Компьютерные технологии в формировании исследовательских навыков при подготовке специалистов электронной техники // Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество: матер. VII межвузов. науч.-метод. конф., посвящ. 70-летию Ю.Г. Назмеева. Казань, 2016. Т. 2. С. 31–35.
2. Белов А.В. Разработка устройств на микроконтроллерах AVR. СПб.: Наука и техника, 2016. 530 с.
3. Ахметвалеева Л.В. Основы микропроцессорной техники: лаб. практикум по дисциплинам «Информационная техника», «Основы микропроцессорной техники», «Программирование цифровых систем автоматизации». Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. 108 с.

УДК 621.311.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХЦВЕТНОГО ФОТОДИОДА

С.Ф. Гильманов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
gilmanov-salavat1995@mail.ru
Науч. рук. канд. пед. наук Р.Р. Закиева

Аннотация. В работе представлены результаты исследований, проведенных с целью получения эмпирических вольтамперных характеристик трехцветного фотодиода LED5RGB-KV.

Ключевые слова: RGB-светодиод, вольтамперная характеристика (ВАХ), ширина запрещенной зоны, широтно-импульсная модуляция, рабочее напряжение, температура свечения.

Актуальность заявленной темы обусловлена все более широким использованием светодиодных ламп как в повседневной жизни,

так и в промышленности. Однако в настоящее время теоретической базы по данной теме недостаточно, и большинство данных, характеризующих поведение светодиодов при различных условиях эксплуатации, получены экспериментальным путем. В данной работе приведены результаты оригинальных исследований вольтамперных характеристик (ВАХ) трехцветных, или RGB-светодиодов, у которых в одном корпусе находятся синие, зеленые и красные светодиоды. У такого светодиода всего четыре вывода, из которых три – это аноды, из них каждый своего цвета, и общий катод. Такой RGB-светодиод имеет 4 вывода, три из них – аноды, соответствующие отдельным цветам, четвертый вывод – общий катод. На рис. 1 приведен эскиз RGB-светодиода.

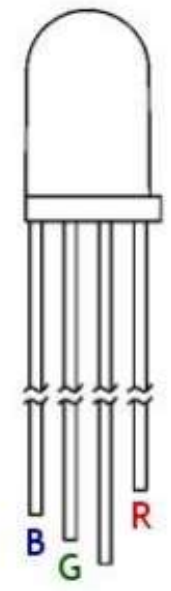


Рис. 1. RGB-светодиод

В качестве исследуемого светодиода был выбран LED5RGB-KV ∅5 мм с температурным диапазоном –40÷+85 °С, рабочим напряжением 3–4 В. Более полные характеристики диода по каждому цвету приведены в таблице [3].

Характеристики светодиода LED5RGB-KV

Цвет	Длина волны, нм	Яркость, мКд	Напряжение U/U_{max}, В	Температура свечения, °С
Красный	650	500	2,0/2,8	60
Зеленый	520	500	3,5/4,5	60
Синий	468	500	3,5/4,2	60

Для того чтобы светодиод заработал, каждый из его анодов подключают к сети последовательно с резистором, и при подаче сигнала на любой из анодов он начинает светиться своим цветом. Требуемый цвет свечения можно получить, применяя широтно-импульсную модуляцию. Важными объектами для исследований светодиодов являются их вольтамперные и спектральные характеристики, дающие необходимые данные об их производительности. Для того, чтобы иметь представление о работе всего светодиода, нужно посмотреть, как ведут себя по отдельности каждый из трех светодиодов. Для этого воспользуемся макетом, схема которого приведена на рис. 2.

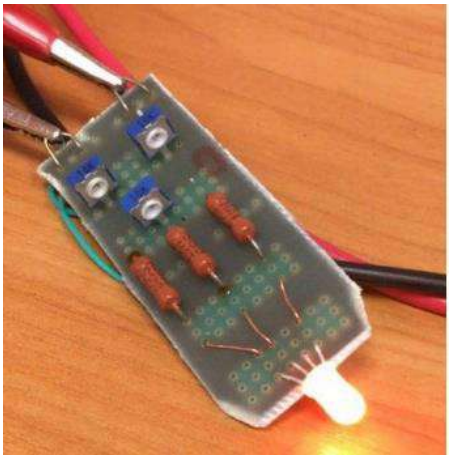


Рис. 2. Макет для исследования характеристик светодиода

На макете имеются три анода – по одному на каждый цвет, которые подключены последовательно с предохранительными и регулировочными резисторами к источнику питания, при этом общий катод заземляется. Источником питания является стандартный регулируемый блок постоянного тока.

У светодиодов вольтамперная характеристика полностью соответствует нелинейной ВАХ полупроводниковых диодов. При этом светодиоды разных цветов будут иметь разные ВАХ. Это объясняется тем, что для изготовления разных светодиодов используют разные полупроводники с разной шириной запрещенной зоны. Известно, что мощность излучения пропорциональна силе тока. Для того, чтобы измерить электрические характеристики светодиода, нужно регулировать силу тока и отдельно для каждого цвета измерить зависимость напряжения от тока с шагом 1 мА. Сила тока измеряется мультиметром. Полученные таким образом ВАХ для каждого цвета нашего *RGB*-светодиода показаны на рис. 3.

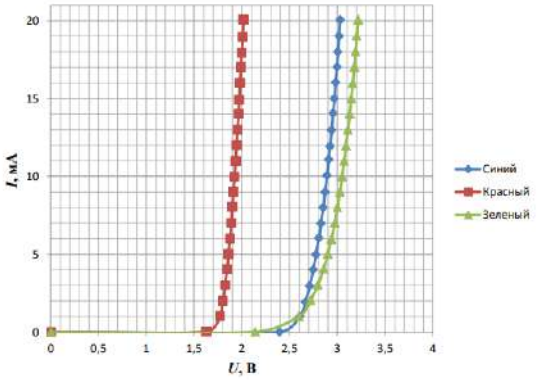


Рис. 3. ВАХ светодиода *LED5RGB-KV* для каждого из цветов

Полученные данные позволяют сделать вывод, что у RGB-светодиодов наблюдаются разные ВАХ – у каждого цвета они свои. При этом с увеличением длины волны излучения светодиода падающее напряжение на нем уменьшается, а потери энергии увеличиваются. Например, у красного светодиода длина волны больше, а ширина запрещенной зоны меньше. Поэтому для того, чтобы на нем началось излучение, ему требуется меньшее напряжение, чем зеленому или синему светодиоду. Если на светодиод был подан малый ток, то даже незначительные изменения напряжения могут привести к скачку тока, и это следует учитывать при измерениях. Если токи большие, то будет иметь место температурное насыщение. Уменьшение ширины запрещенной зоны будет тогда, когда произойдет нагрев кристалла светодиода, вследствие чего меняется период кристаллической решетки. Опытным путем можно убедиться, что значения напряжений близки к значениям, указанным в спецификации светодиода

Источники

1. Вейнерт Д., Сполдинг Ч. Светодиодное освещение. Справочник. Принципы работы, преимущества и области применения. Philips, 2010. 156 с.

2. Программирование встраиваемых систем: учеб. пособие / С.В. Аргудяев [и др.]. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 64 с.

3. Фершильд М.Д. Модели цветового восприятия. СПб.: Wiley-IS&T, 2006. 437 с.

4. Техническая документация светодиода LED5RGB-KV [Электронный ресурс]. URL: https://www.sklep.cyfronika.com.pl/pl/p/LED5RGB-KV-Dioda-LED-RGBred500mcdgreen500mcdblue500mcd-5mm-WK (дата обращения: 19.01.2019).

УДК 621.314:621.382

РАЗРАБОТКА СХЕМ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

И.Р. Гильфанов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
winhar8tat@yandex.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук Р.И. Калимуллин

Аннотация. В данной статье поднимается тема особенностей силовой электроники и использования силовых интегральных микросхем

Ключевые слова: силовая электроника, силовые интегральные микросхемы, активные компоненты в силовых устройствах.

Современные требования к энергосбережению во всех сферах хозяйства предполагают использование в области электроники энергоэффективной компонентной базы. Наилучших результатов позволяет достичь использования микроэлектронных устройств. Развитие современной микроэлектроники идет по пути отхода от универсальности и к использованию специализированных, наиболее оптимальных для предназначенной области применения, микросхем. Так, в области силовой электроники используются микросхемы Digital Power для построения каскадов питания с цифровым управлением, контроллеры ШИМ, специально предназначенные для управления одно- и двухтактными преобразователями напряжения, микросхемы импульсных стабилизаторов и преобразователей SEPIC с широтно-импульсным регулированием напряжения, драйверы для управления МОП-транзисторами и IGBT, а также стойками этих транзисторов в инверторах. Помимо непосредственно управленческих функций данные микросхемы обеспечивают защиту силовых устройств от перенапряжений, превышения тока и температуры.

Современные устройства силовой электроники на основе специализированных интегральных микросхем содержат следующие стандартные блоки: блок реализации алгоритмов управления, блок сопряжения, силовая схема преобразователя электроэнергии. Блок реализации алгоритмов управления предназначен для реализации основного алгоритма работы конкретного устройства. С точки зрения конструктивного исполнения он может быть как внешним, так и внутренним, встроенным в устройство силовой электроники. Этот блок, как правило, низковольтный и маломощный. К используемой элементной базе не предъявляется высоких требований по пробивным напряжениям

и потребляемым токам. Блок сопряжения служить для электрического и временного согласования работы низковольтного блока реализации алгоритмов управления и силовой схемы преобразователя электроэнергии. Входы данного блока низковольтные, а выходы высоковольтные, причем внутри блока (обычно на его входе) предусмотрены элементы гальванической развязки (обычно оптопары). Силовая схема преобразователя электроэнергии характеризуется, как правило, большими значениями выходных тока и напряжения. Здесь требуются высокие пробивные напряжения элементной базы и низкие выходные сопротивления для уменьшения рассеиваемой мощности.

В результате указанной выше специализации разработка современных силовых устройств, основанных на применении интегральных схемах с большой степенью интеграции, во многом сводится к следованию рекомендациям разработчиков этих микросхем (руководства пользователя, заметки по применению – Datasheet и т.д.). Тем не менее, роль разработчика таких устройств не остается «пассивной». Прежде всего, требуется подбирать энергоэффективные внешние (навесные) компоненты. В качестве активных компонентов в силовых устройствах на микросхемах используются преимущественно МОП-транзисторы, диоды Шоттки, другие энергоэффективные компоненты. При этом те же МОП-транзисторы могут применяться не только в роли силовых ключей, но и как синхронные выпрямители, заменяющие диоды Шоттки. Комплексный характер нагрузки, вызванный этим сложный характер переключения, необходимость определения для выбора компонента пиковых значений его тока и напряжения предполагают использование при разработке автоматизированных средств проектирования и расчета электронных компонентов и устройств.

Источники

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника. Эволюция и применение. М.: Знак, 2018. 140 с.

2. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1989. 394 с.

УДК 535.6.

ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА

А.Р. Зарипова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alfira1996@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Борисов

Аннотация. Рассмотрено понятие индекса цветопередачи, история его появления, физический смысл. Представлены особенности цветопередачи различных видов источников света. Показано, что светодиодные источники света не всегда можно оценивать по этому параметру.

Ключевые слова: абсолютно черное тело, источник света, эталонный источник света, отражающая поверхность, цветопередача, спектр.

Важной характеристикой источников белого света является их способность передавать реальные цвета физических объектов. Такую особенность называют индексом цветопередачи – CRI.

При освещении объекта светом от источника с высоким индексом цветопередачи цвета, воспринимаемые глазом человека, кажутся более насыщенными и живыми по сравнению со светом от источника с низким индексом цветопередачи. Это важно при использовании световых устройств в целях освещения специализированных помещений, где важно правильно отобразить цвета объектов (например, в музеях, домах и офисах). Светильники с пониженным индексом цветопередачи можно применять для подсветки улиц и парковок. При использовании источников света в качестве индикаторных ламп и других указательных устройств этот параметр совсем теряет свое значение.

Для определения индекса цветопередачи тестируемого источника излучения к передаче цветов производится:

1. Сравнение его с эталонным источником света. По рекомендации МКО (CIE, 1995) для проведения расчетов эталонный источник выбирается исходя из следующих соображений.

Если координаты цветности тестового источника лежат на кривой Планка, то эталонный источник должен быть абсолютно черным телом, имеющим ту же цветовую температуру, что и тестируемый излучатель. Если координаты цветности тестового источника не принадлежат кривой Планка, то эталонный источник должен быть абсолютно черным телом, имеющим ту же коррелированную цветовую температуру, что и тестируемый излучатель. В качестве эталонного источника можно использовать один из стандартных источников МКО (например, D_{65}).

Идеальный случай – тестируемый и эталонный источники света имеют одинаковые координаты цветности и равные световые потоки. Согласно требованиям МКО, принято считать, что эталонный источник света обладает идеальными параметрами цветопередачи, т.е. его индекс цветопередачи CRI = 100. При этом имеется в виду, что естественный дневной свет близок по параметрам к излучению абсолютно черного тела и поэтому по праву может быть отнесен к стандартным эталонным источникам света. Индексы цветопередачи реальных излучателей, отличных от эталонных источников света, всегда ниже 100. Понятно, что получаемые значения индексов цветопередачи сильно зависят от выбранного эталонного источника излучения. Поэтому при сравнении индекса цветопередачи разных источников света надо очень внимательно подходить к выбору эталонного излучателя.

Поскольку спектры излучения ламп накаливания и абсолютно черного тела близки, такие лампы обладают максимально возможными индексами цветопередачи. Поэтому с точки зрения цветопередачи лампы накаливания являются лучшими среди всех источников искусственного освещения. В этом и заключается причина того, что кварцевые галогенные лампы накаливания широко используются там, где необходима отличная передача цвета – в музеях, художественные галереи и магазины одежды. К недостатку кварцевых галогенных ламп относится их высокое энергопотребление.

2. Используют эталонные отражающие поверхности. Таковыми могут быть реальные объекты, например: фрукты, цветы, дерево, мебель и одежда.

Однако с целью обеспечения международной стандартизации при определении коэффициентов цветопередачи реальных излучателей применяется специальный набор из 14 цветных поверхностей. Этот набор из 14 цветов был выбран из гораздо большего набора цветов, первоначально предложенного Альбертом Г. Манселлом. Она получила название цветовой системы Манселла и позволяет идентифицировать очень широкий диапазон цветов.

Термин появился приблизительно в 1960-1970-х годах, когда была разработана система, математически сравнивающая, насколько источник света изменяет расположение в спектральной шкале восьми определенных пастельных цветов по сравнению с теми же цветами, освещенными эталонным источником цвета той же цветовой температуры, согласно определению Международной комиссии по освещению (*CIE*).

Методы расчета индекса цветопередачи (*CRI*) подробно обсуждаются в работах [1–4]. МКО предложила следующую формулу для вычисления полного (суммарного) значения этого индекса:

$$CRI_{general} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} CRI_i$$

где CRI – частные индексы цветопередачи для восьми эталонных поверхностей, которые определяются по формуле

$$CRI = 100 - 4{,}6\Delta E_i^*,$$

где E_i^* – разность цветов эталонной поверхности при ее последовательном освещении эталонным и тестовым источниками излучения.

Значения суммарных индексов цветопередачи наиболее распространенных источников света цветности

Источник света	Индекс цветопередачи	
Солнечный свет	100	А
Кварцевые галогенные лампы с вольфрамовой нитью накаливания	100	Б
Лампы с вольфрамовой нитью накаливания	100	Б
Флуоресцентные лампы	60–95	Б
Трехцветные светодиоды белого свечения	60–95	Б, В
СД белого свечения на основе люминофоров	55–85	Б, В
Двухцветные светодиоды белого свечения	10–60	Б, В
Ртутные лампы, покрытые люминофором	50	Б
Ртутные лампы	33	Б
Натриевые лампы высокого и низкого давления	10 и 22	Б
Зеленый монохроматический свет	–50	В

Примечание. Эталонные источники: А – солнечный свет; Б – свет лампы накапливания с коррелированной цветовой температурой; В – источник *D*65.

Иногда для более детального изучения способности излучателей воспроизводить цвета применяют шесть дополнительных цветов. Они в основном используются для специальных нужд, но не участвуют при расчетах индекса цветопередачи.

По определению, если не существует разницы в том, как выглядят цвета предметов, источнику света присваивается индекс цветопередачи 100. Таким образом, при малых различиях *CRI* будет ближе к 100, в то время как более серьезные различия приведут к получению меньшей величины индекса цветопередачи.

В качестве эталонного источника света принято использовать абсолютное черное тело, так как *CRI* = 100.

Разность цветов AE*, часто называемая цветовым контрастом, играет ключевую роль в вычислении индекса цветопередачи, поэтому в последующих двух разделах будут подробно обсуждаться способы ее определения применительно к тестируемым источникам излучения, лежащим на кривой Планка и вне ее.

Эталонные отражающие поверхности, о которых упоминалось выше, определяются через их спектральную отражательную способность. Суммарный индекс цветопередачи вычисляется на основе измерений при использовании всех восьми эталонных поверхностей (r = 1–8).

Иногда для более детального изучения способности излучателей воспроизводить цвета помимо восьми эталонных образцов (с номерами 1–8) применяют шесть дополнительных эталонных отражающих поверхностей (с номерами 9–14). Эти дополнительные поверхности характеризуются следующими цветами: 9 – интенсивный красный, 10 – интенсивный желтый, 11 – интенсивный зеленый, 12 – фиолетово-синий, 13 – телесный цвет, 14 – цвет листьев на деревьях.

Из таблицы понятно, что наиболее высоким индексом цветопередачи являются приборы с телом накала, цветовые температуры которых находятся в диапазоне от 2000 до 5000 К. Эталонным источником света в этом случае является «излучатель черного тела», а с цветовыми температурами выше этого диапазона – дневной свет. Индекс цветопередачи и у ламп накаливания, и у неба северного полушария считается равным 100, притом ни один из них не является действительно безупречным.

С индексом цветопередачи светодиодов дело обстоит иначе. Во многих случаях RGB-светодиоды имеют индексы цветопередачи в районе 20, но при этом хорошо показывают передачу цветов [1]. Чаще это происходит от того, что они обычно склонны повышать воспринимаемую насыщенность большинства цветов без смещения цветопередачи оттенков. В 2010 году для более точной оценки качества передачи цвета была разработана методика Color Quality Scale (CQS). Однако методика CQS не стала полноценной заменой *CRI*, так как также не

учитывала тон и насыщенность цветов освещаемых предметов. Поэтому в августе 2015 года был разработан стандарт TM-30-15, который оценивает качество цвета не только по цветным шаблонам, но и встречающимся в повседневности предметам. Как кардинально улучшить цветопередачу светодиодов? Очевидно, что это будет поиск новых составов люминофоров. Известно, что дешевый широкополосный люминофор (галофосфат кальция и магния) дает свет с параметром CRI не выше 70 Ra [2]. Нанотехнологии позволяют повысить качество высокоэффективных белых светодиодов, поскольку использование квантовых коллоидных точек в качестве люминофорного покрытия позволило увеличить *CRI* до 90 Ra [3]. Применение светодиодов с дорогим трех- и пятиполосным люминофором сразу увеличивает его до 85…95 Ra. Но главным недостатком люминофорных светодиодов является низкая по сравнению с RGB светоотдача. Сфера применимости светодиодов будет расширяться одновременно с увеличением светоотдачи, улучшением качества света и снижением стоимости светодиодных источников света.

Пока же индекс цветопередачи можно считать одним из информационных параметров при оценке светодиодных изделий и систем на их основе. Он может быть использован для выбора конкретного светотехнического изделия без предварительных персональных оценок и тестирования изделия на предполагаемом месте эксплуатации. Освещение светодиодами можно сравнивать только с источниками света равной цветовой температуры.

Кроме того, некоторые светодиодные решения с *CRI* столь низкими, как 25, и излучают визуально приятный белый свет [4].

Тогда зачем же использовать CRI, если у этой величины так много недостатков? В настоящее время это единственная признанная на международном уровне система оценки цветопередачи, которая дает потребителям некоторые ориентиры. В этой области ведет работу Государственный институт стандартов и технологии (NIST) США, разрабатывающий Шкалу качества цвета для решения некоторых проблем существующей системы оценки цветопередачи CRI, и Российские метрологические институты, но пока еще эта шкала повсеместно не принята.

Источники

1. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ.; под ред. А. Э. Юновича. 2-е изд. М.: Физматлит, 2008. 496 с.

2. Duggal A.R. Organic electroluminescent devices for solid-state lighting in Organic Electro-luminescence / ed. by Z.H. Kafafi. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis, 2005. 514 p.

3. Kendall M. and Scholand M. Energy Savings Potential of Solid State Lighting in General Lighting Applications // U.S. Department of Energy, Washington, DC, Apr. 2001.

4. Long J. and Luke J. T. The New Munsell Student color Set. 2nd ring-bound ed. Fairchild Books and Visuals, New York, 2001.

УДК 535.24

ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СВЕТООТДАЧИ СВЕТОДИОДОВ

Д.Н. Козина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
d.kozina@list.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Борисов

Аннотация. Проведен анализ просветляющих покрытий. Разработаны покрытия, позволяющие повысить светоотдачу светодиодов, не изменяя их конструкции. Покрытия оптимизируются под любой прозрачный оптический материал. Вариация показателей преломления и толщин слоев позволяет получить эффект для любой области спектра.

Ключевые слова: тонкие пленки, интерференция, просветление, светодиоды, световая отдача, пропускание.

В настоящий момент задача исследований повышения светоотдачи источников света актуальна, поскольку ее решение может привести к экономии энергии, и материальных средств. Принципиально этот вопрос возможно решить для источника света любого типа, поскольку у любого светильника имеются элементы вторичной оптики. Но вопросы повышения светоотдачи светодиодных элементов стоят наиболее остро, потому как на сегодняшний день они являются наиболее безопасными и экономичными источниками света.

Целью работы является нахождение конкретного метода повышения светоотдачи светодиода на основе всестороннего изучения возможностей применения различных достижений в современных областях фотоники и нанотехнологии. Наиболее простым и приемлемым решением является применение просветляющих слоев, наносимых непосредственно на готовый светодиод, без изменения его конструкции и технических параметров.

Принцип действия просветляющих покрытий [1, с. 82] основан на явлении интерференции. На поверхность оптической детали (рис. 1) наносят тонкую пленку, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла.

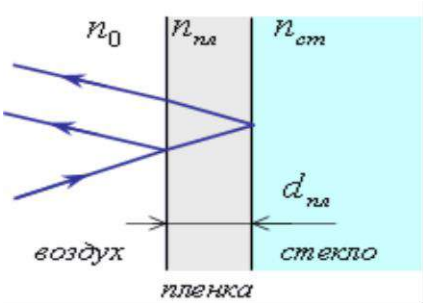


Рис. 1. Принцип просветления оптики

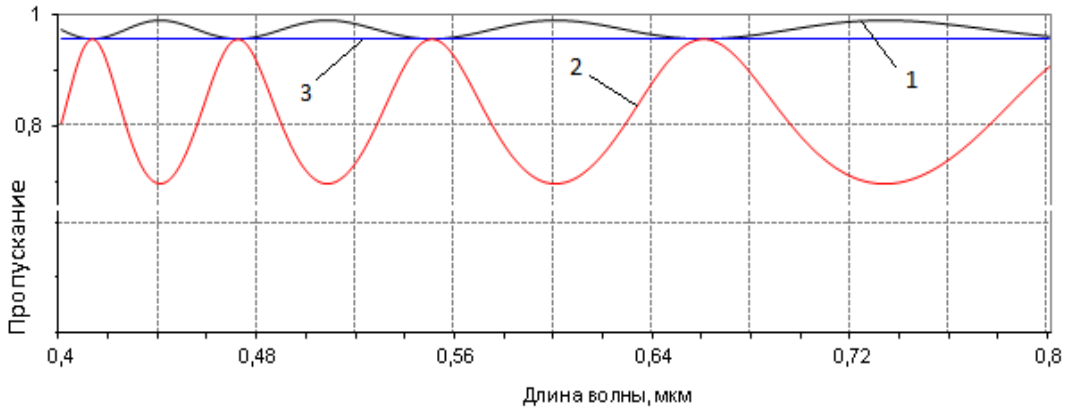


Рис. 2. Графики спектров пропускания чистой подложки (3), со слоем двуокиси кремния (1), и со слоем окиси титана (2)

Луч, отраженный от поверхности пленки, и луч, отраженный от границы пленка-стекло, когерентны. Можно подобрать толщину пленки так, чтобы при интерференции они погасили бы друг друга, усиливая, таким образом, проходящий свет. При нанесении пленки на подложку коэффициент пропускания системы «воздух-пленка-подложка» будет изменяться в зависимости от показателей преломления, как пленки, так и подложки. Согласно закону Френеля слой вещества, показатель преломления которого ниже показателя преломления подложки, будет увеличивать суммарный коэффициент пропускания системы, и наоборот, слой с показателем преломления выше, чем у подложки, уменьшит коэффициент пропускания подложки с нанесенным на нее слоем вещества. Это хорошо видно на рис. 2.

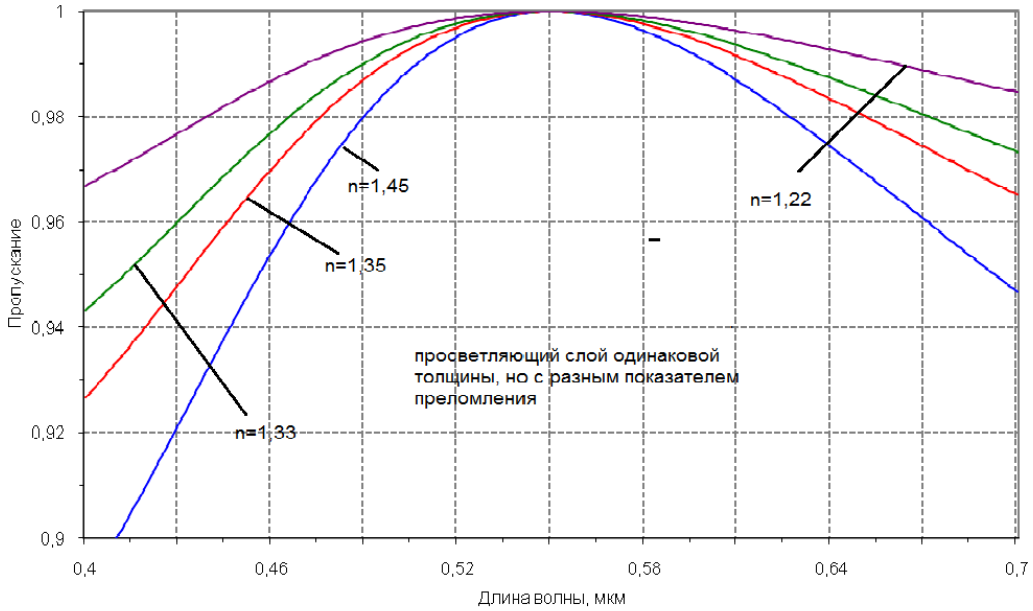
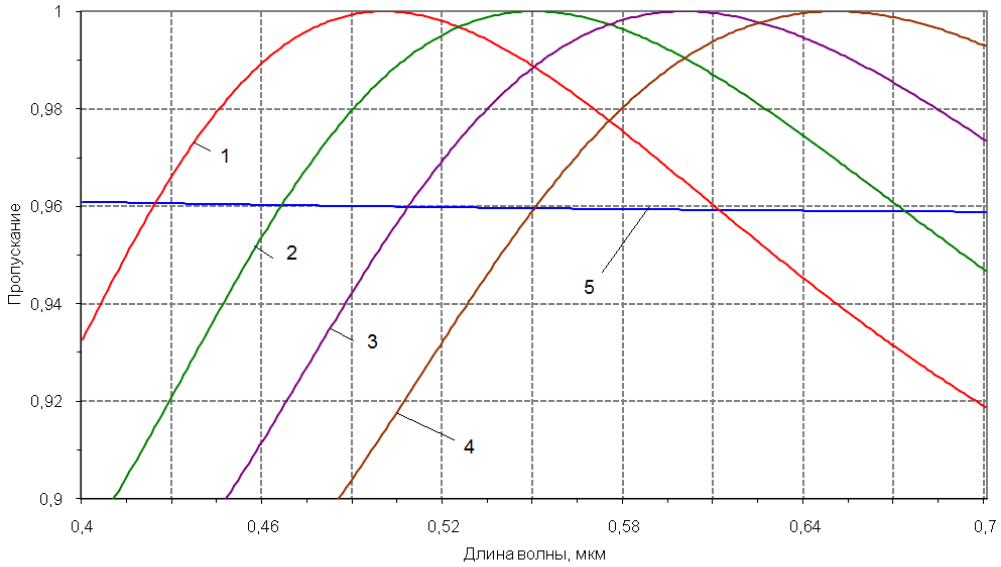


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициентов пропускания различных материалов одинаковой толщины



Спектральные кривые пропускания просветляющего слоя с показателем преломления **n**=1,45, ралличной толщины:
цифрами отмечены кривые,максимум пропускания которых соответствует: **1** - 0,5 мкм; **2** - 0,55 мкм; **3** - 0,6 мкм; **4** - 0,65 мкм. 5 - непросветленный элемент

Рис. 4. Спектральные зависимости коэффициента пропускания двуокиси кремния, различной толщины, нанесенного на органическое стекло

Также задачей является получение максимального пропускания оптического элемента в строго заданном спектральном диапазоне, что тоже не всегда выполнимо, поскольку ширина спектральной кривой сильно зависит от свойств материала пленки. В качестве примера на рис. 3 приведены спектральные зависимости коэффициентов пропускания

различных материалов одинаковой толщины. На рис. 4 показаны спектральные зависимости коэффициента пропускания одного и того же материала – двуокиси кремния различной толщины, нанесенного на органическое стекло.

Как видно из представленных рисунков, выбор параметров для таких слоев является сложной задачей и может состоять не из одного слоя, поэтому в дальнейшем изложении нанесенные покрытия названы системой слоев.

В качестве прототипа выбрана работа [2], в которой была решена техническая задача по просветлению поверхности светодиода и достижения при этом повышенного коэффициента его световой эффективности за счет выбора соответствующих материалов, толщин слоев и коэффициента пропускания световыводящей поверхности светодиода.

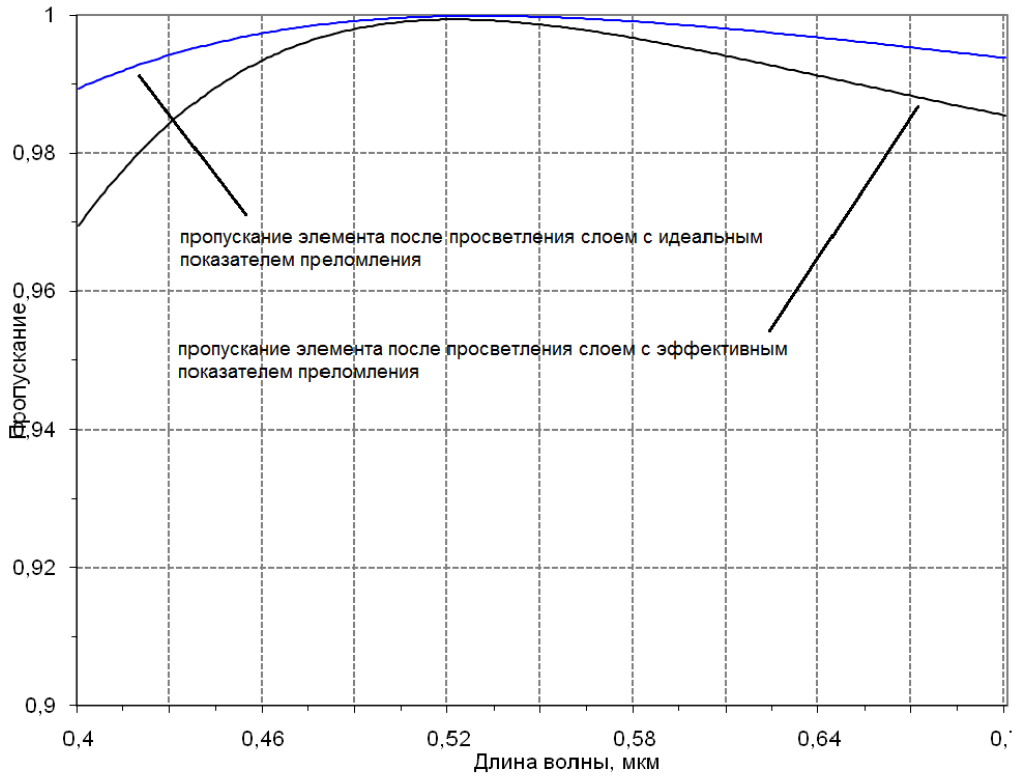


Рис. 5. Спектральные характеристики пропускания световыводящего элемента светодиода: I – спектральная характеристика светодиода без покрытия, II – спектральная характеристика светодиода с нанесенным защитным просветляющим покрытием на его наружной поверхности

На рис. 5 приведены спектральные характеристики коэффициента пропускания световыводящего оптического элемента светодиода без покрытия I и с нанесенным защитным просветляющим покрытием на его наружной поверхности II.

На графике видно, что область просветления не охватывает всю область видимого спектра. В ряде случаев существует необходимость расширения спектральной области, охватываемой просветлением, на всю видимую часть, а также в направлении коротковолновой или близкой инфракрасной областям спектра. Это привело к необходимости создания более сложных видов просветляющих покрытий. Однако увеличение оптической толщины одного из слоев двухслойной пленки приводит к появлению дополнительных минимумов и значительному расширению области низких значений коэффициента отражения.

Проводя работы по оптимизации конструкции просветляющего покрытия, выяснено, что суммарная оптическая толщина всей пленки составляет одну длину волны. Выбирая слои с различными показателями преломления и увеличивая число слоев до трех, можно получить покрытие, у которого значение коэффициента отражения не превышает 0,5 % в широкой области спектра. На рис. 6 приведена спектральная характеристика такого покрытия. Также выяснено, что характер спектрального отражения в значительной степени зависит от показателей преломления нижнего и среднего слоев суммарной системы.

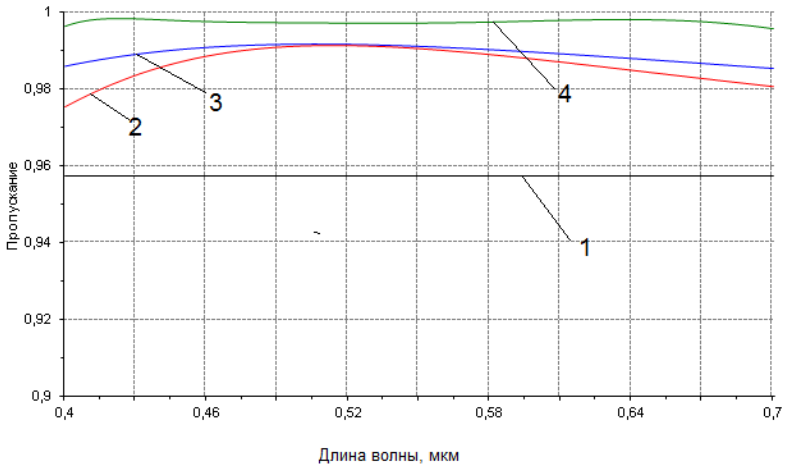


Рис. 6. Спектральные характеристики детали без покрытия (1), после нанесения однослойного просветляющего покрытия (2), двухслойного покрытия (3), и трехслойного покрытия (4)

После просветления с помощью двухслойных пленок с минимумом отражения в области 520 нм (кривая 3) поле зрения системы приобретает отчетливо выраженную зеленую окраску (цветовой тон 555 нм). Избирательный характер двухслойного просветления может негативно сказаться при использовании различных источников и приемников. Из рисунка видно, что у двухслойного просветления область малого отражения шире, чем у однослойного покрытия, но все еще имеется

максимум коэффициента пропускания, который практически незаметен для глаза человека, но при работе с фотоприемником, максимум чувствительности которого находится в другой области спектра, суммарное интегральное светопропускание оптического элемента может оказаться несколько иным. Элемент с трехслойным просветлением несомненно выглядит предпочтительнее. Такое просветление повышает светопропускание более равномерно и охватывает целиком всю видимую область спектра [3, с. 40].

При выборе рационального способа просветления необходимо исходить из того, что просветление преследует две цели: увеличение светопропускания прибора и уменьшение количества вредного рассеянного света. Последнее в основном относится к просветлению фотографических объективов, поскольку небольшое увеличение светопропускания здесь не так существенно.

В качестве экспериментального подтверждения теоретических исследований в ходе выполнения работы было нанесено химическим способом просветляющее покрытие на поверхность световыводящего элемента светодиода типа АЛ-107. Просветление выполнено в виде двухслойного покрытия, содержащего в своем составе слои с показателями преломления n = 1,6 и n = 1,4. Оптические толщины слоев оптимизированы с таким расчетом, чтобы максимум коэффициента пропускания оказался в середине видимой области спектра. Это связано с тем, что просветление проводилось для светодиода белого свечения. В случае с цветными светодиодами выгоднее использовать более узкие однослойные просветляющие слои, толщины которых позволяют в широких пределах варьировать максимум коэффициента пропускания светодиода.

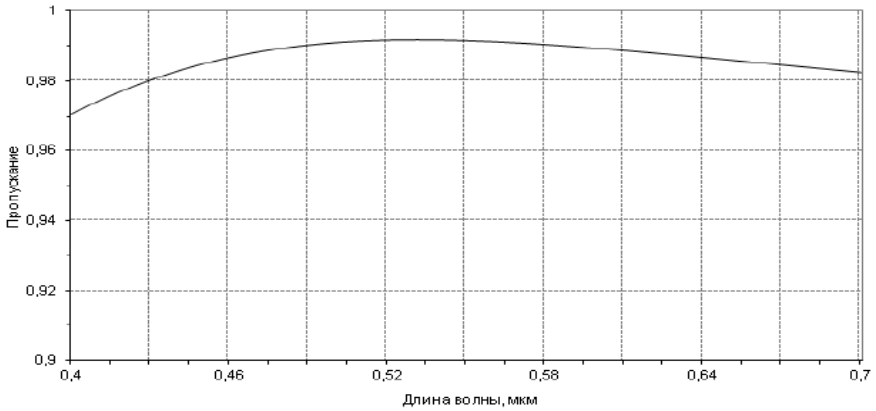


Рис. 7. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны излучения для белого светодиода

На рис. 7 показана зависимость коэффициента пропускания от длины волны излучения для белого светодиода, просветление двухслойное.

На рис. 8 представлены подобные спектральные кривые, в виде однослойных покрытий, соответственно для синего (кривая 1), зеленого (кривая 2) и красного (кривая 3) светодиодов.

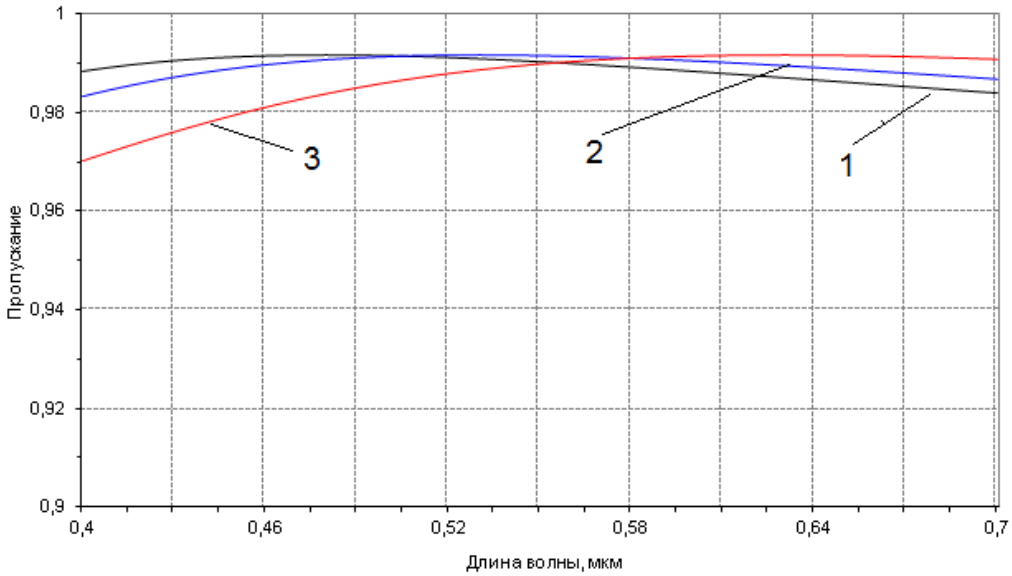


Рис. 8. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны излучения для синего (кривая 1), зеленого (кривая 2), и красного (кривая 3) светодиодов

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что что для конкретного источника света путем оптимизации параметров слоев и их количества можно получить увеличение светоотдачи в виде повышения коэффициента пропускания в соответствующей области спектра.

Таким образом, в ходе работы проведен литературный обзор, патентный поиск прототипов и аналогов устройств, имеющих решения по поставленному вопросу. Осуществлены расчеты по оптимизации конструкций самих просветляющих покрытий, толщин слоев. Проведены исследования возможности повышения светоотдачи источников света и экспериментально получены образцы светодиодов разных цветов с улучшенными коэффициентами светоотдачи для конкретных областей спектра.

Работа проведена в рамках Гранта РФФИ № 17-08-00850 «Создание элементов интегральной дифракционной оптики на основе полупроводниковых халькогенидных стекол».

Источники

1. Борисов А.Н. Исследование оптических свойств тонких пленок фотометрическим методом // Сб. науч. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. «Новое слово в науке и технике» СПб., 2014. С. 82–89.

2. Способ изготовления светодиода: пат. 2574424 Рос. Федерация № 2014149017/28; заявл. 04.12.14; опубл. 10.02.16, Бюл. № 4.

3. Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия. Л.: Машиностроение,1973. 224 с.

УДК 53.083.98

РАЗРАБОТКА РЕГУЛИРУЕМОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ТОКОМ НАКАЧКИ ЛАЗЕРА С ПРИЕМЛЕМОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ

Ю.В. Липатов[1], К.Н. Каримов[2], Р.К. Хайбуллин[3]
[1,2,3]КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань
[1,2,3]kamil-ok@mail.ru
Науч. рук. Р.М. Муратов

Аннотация: Настоящая работа посвящена разработке блока управления током накачки лазерного модуля. Спроектировано несколько вариантов исполнения данного блока. Путем сравнения и исключения выбран наилучший вариант исполнения.

Ключевые слова: управление током накачки, лазерный модуль, элемент Пельтье, интерфейс TWI (I2C), термостабилизация, сопротивление терморезистора, фотодиод обратной связи.

В различных областях, а особенно в сферах, связанных с безопасностью, можно заметить тенденцию перехода от электрического измерения различных параметров к измерениям, которые проводятся с применением линейных волоконно-оптических датчиков. Это связано с тем, что в волоконно-оптических линиях не протекает электрический ток, а также некоторые преимущества волоконно-оптического измерения, такие как точная локализация наиболее нагретых мест или места растяжения (сжатия) волокна, компьютерный анализ и оценка временного и локального измерения температуры, незначительный затраты на техобслуживание, возможность применения в условиях высокого давления, компактность, гибкость и др. Различают два типа измерения с помощью волоконно-оптических датчиков: классическая техника временной оптической рефлектометрии (OTDR, Optical Time Domain Reflectometry) и технику частотной оптической рефлектометрии (OFDR, Optical Frequency Domain Reflectometry). Для обоих методов требуется высокостабильный источник света. Целью работы является разработка данного источника света, а именно блока управления током накачки лазерного модуля LFD-18/2-i. В данном блоке будет обеспечена возможность установки максимального тока лазера в диапазоне от 10 до

400 мА. Это необходимо, в случае несанкционированного увеличения регулируемого тока диода. Шаг установки тока лазерного модуля 0,1мА. Охлаждение лазерного модуля (микрохолодильник) встроен в лазерный модуль и представляет собой элемент Пельтье с максимальным напряжением 5 В и током 1200 мА. Диапазон изменения сопротивления терморезистора составляет 6…19,9 кОм. Стабилизируемый диапазон температур составляет от +10 до +40 °С. Также в модуль встроен фотодиод обратной связи с напряжением 5 В и током до 20 мА.

Сложностью при разработке данного блока является обеспечение точности поддержания температуры в одну десятую доли градуса, а также шаг регулировки тока лазерного модуля в 0,1 мА. Для обеспечения такой точности необходимо использовать цифровое схему, так как при использовании аналоговой схемы данный блок будет на порядок более дорогостоящим и сложным. В дальнейшем был выбран микроконтроллер Atmega 8 с внешним цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), поскольку такое решение обеспечивало более надежное и стабильное регулирование, чем микроконтроллер STM32 со встроенным цифро-аналоговым преобразователем. ЦАП был подобран MAX5822 – 12-битный, последовательный, с интерфейсом I2C фирмы MAXIM. Так как для обеспечения тока до 400 мА с шагом 0,1 мА необходимо 4000 значений, выбранный 12 битный ЦАП обеспечивает дискретизацию до 4096 значений, что удовлетворяет условиям технического задания.

В качестве источника опорного напряжения была выбрана микросхема AD1584BRTZ-REEL7 фирмы ANALOG DEVICES с значением выходного напряжения 4,096 В, что позволило несколько упростить процесс программирования. Также в плате был предусмотрен интерфейс SPI для прошивания микроконтроллера через программатор AVR USBASP. Для управления микрохолодильником был подобран драйвер MAX8520, который сможет обеспечить ток до 1,5 А. В качестве силового элемента для обеспечения тока накачки был выбран MOSFET транзистор ZXMP6A17G. Операционные усилители AD8601 обеспечивали управление затвором MOSFET транзистора и обратную связь с фотодиодом обратной связи. Для отображения информации по максимальному, устанавливаемому и текущему току лазерного диода, текущего и устанавливаемого значения сопротивления термистора, а также для отображения текущего тока элемента Пельтье и тока фотодиода использовался ЖК-дисплей 1602 с контроллером HD44780.

Использование современной элементной базы и принципов построения систем управления позволило удовлетворить все требования

технического задания и разработать высокоточный регулируемый блок управления током накачки лазерного модуля.

Источники

1. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств. М.: Наука и Техника, 2016. 544 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: Бином, 2015. 706 с.
3. Китаев Ю.В. Основы цифровой техники: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 107 с.
4. Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии. М.: Мир, 1985. 384 с.

УДК 535. 3

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ СФОКУСИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ

Ю.В. Липатов[1], К.Н. Каримов[2], Р.К. Хайбуллин[3]
[1,2,3]КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань
[1,2,3]kamil-ok@mail.ru
Науч. рук. Р.М. Муратов

Аннотация. В работе рассматривается новый способ повышения эффективности передачи энергии для разработки сфокусированной антенной решетки. Метод позволяет получить более точное и легкое контролируемое фокусное расстояние. Его работоспособность доказали результаты исследования.

Ключевые слова: антенная решетка, СВЧ-фокусировка, антенны, микрополосковая антенна, направленная антенна.

Сфокусированной называется антенная решетка, концентрирующая свою силу к малой точке в ближнем поле. Она используется при передаче беспроводных энергий микроволнами. А в медицине СВЧ-фокусировка используется для максимального нагрева раковых тканей, не воздействуя на здоровые. Поэтому приемлемые уровни боковых лепестков, фокусное расстояние являются очень важными параметрами. Исследования показали, что оптимальным распределением для сфокусированной апертуры является угловая вытянутая сфероидальная амплитуда со сферическим фазовым фронтом в области 90 °. Наиболее популярной

является квадратичная фазированная решетка [2], которая была спроектирована с квадратичным распределением фаз и в какой-то степени смогла достичь сфокусированного луча. Тем не менее, уровни боковых лепестков с этим методом максимальны. Недавно было предложено улучшить уровень боковых лепестков квадратичной фазы и Дольфа-Чебышева амплитудным методов, что позволили получить хорошие картины поля. Однако расчетное положение фокуса получилось отличной от измеряемого.

Для достижения этого желаемого свойства мы предлагаем метод проектирования сфокусированной антенной решетки, который основано на оптимизировании эффективности передачи силы между антенной решеткой и тестовой антенной.

Процедура оптимизации генерирует фазовое и амплитудное распределения падающих волн на каждый элемент антенны и, питая сеть, можно легко изготовить основанный на этом результате. Вдобавок фокусное расстояние расположено более точно и может легко быть проконтролировано.

Сфокусированная антенна фокусирует силу микроволн на область, где помещена приемная антенна, когда приемная антенна достигает максимальной эффективности мощности передачи [1]. Рассмотрим систему N+1 антенн выше, образующую H+1 сетевые порты, которые могут быть описаны матрицей (N+1)×(N+1) следующим образом [3]:

$$\begin{bmatrix} [b_t] \\ [b_r] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [S_{tr}] & [S_{tr}] \\ [S_{rt}] & [S_{rr}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [a_t] \\ [a_r] \end{bmatrix}. \tag{1}$$

где $[a_t] = [a_1, a_2, ..., a_N]^T, [b_t] = [b_1, b_2, ..., b_N]^T; [a_t], [b_t], [a_r]$ и $[b_r]$ – нормализованные падающие и отраженные волны для антенной решетки и приемной антенны; нижний индекс t представляет передающую антенную решетку; нижний индекс r обозначает принимающую антенну. Эффективность передачи энергии η:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}\left(\left|[b_r]^2 - [a_r]^2\right|\right)}{\frac{1}{2}\left(\left|[b_t]^2 - [a_t]^2\right|\right)}. \tag{2}$$

Мы можем предположить, что массив приемной антенны согласован, так что $[a_r] = 0$. Если КПД η достигает максимума при $[a_t]$, тогда мы имеем

$$[A][a_t] = \eta[B][a_t], \quad (3)$$

где $[A]$ и $[B]$ определяются как:

$$[A] = [S_{rt}]^H S_{rt}, [B] = 1 - [S_{tt}]^H S_{tt}.$$

И $[a_t]$ – вектор возбуждения каждого элемента массива.

Поэтому обсуждение можно упростить до решения уравнения (3), где η – наибольшее значение и его собственный вектор $[a_t]$ представляют возбуждение для каждого элемента массива.

Решая уравнение (3) с параметрами *S*, можно получить максимальную эффективность передачи и возбуждение каждого элемента массива.

Антенная решетка 4×4 настроенная на 2,45 GHz конструирована с оптимальным методом передачи эффективной силы. В качестве элемента массива была разработана плата, в которой размещены излучатели. Расстояние между излучателями составляет 62 мм. «Фокусная цель» помещена на 10 см далеко от излучающей платы, каждый элемент можно достигнуть на можно возбудить согласно теории оптимизации. Затем разрабатывается сеть подачи согласно оптимизированному результату, чтобы получить соответствие амплитудам и фазам.

Согласно результатам исследования, уровни боковых лепестков составляют не более 0,5 dB, что никак не может повлиять на характеристики антенной решетки.

Источники

1. Вени Г., Лин В. Обратное рассеяние проводящих мишеней в фокальной плоскости сфокусированной апертуры // Журнал UEST Китая. 1995. Вып. 24. № 4. С. 366.
2. Богосанович М., Вильямсон А.Г. Микрополосковая антенная решетка с лучом, сфокусированным в ближней зоне для применения в бесконтактной микроволновой промышленности // Измерительные системы. 2007. Вып. 56. № 6. С. 2186–2195.
3. Вен Г. Основы прикладной электродинамики. Нью-Йорк, 2010. 273 с.

УДК 621.371

ПРИЕМЛЕМЫЕ ЧАСТОТЫ ДЛЯ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Ю.В. Липатов[1], К.Н. Каримов[2], Р.К. Хайбуллин[3]
[1,2,3]КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань
[1,2,3]kamil-ok@mail.ru
Науч. рук. Р.М. Муратов

Аннотация. В статье рассмотрены основные особенности распространения радиоволн в космических линиях связи. Приведен расчет доплеровского смещения частоты при связи с кораблем, удаляющимся от Земли со второй космической скоростью. Выбрана оптимальная полоса частот для связи с космическими аппаратами, учитывая основные особенности распространения в космических линиях связи. Предложен метод устранения потерь, возникающих за счет поворота плоскости поляризации на частотах до 3 ГГц.

Ключевые слова: космический аппарат, оптимальная частота, космическая линия связи, рефракция, поляризация, потери.

Особенности распространения радиоволн в космических линиях связи отличаются от процессов распространения в наземных условиях. При распространении сквозь атмосферу траектория луча изменяется за счет атмосферной рефракции. Кроме того, за счет движения космического аппарата (КА) относительно Земли имеет место доплеровский эффект и, не стоит забывать, вследствие огромного расстояния между объектами (Земля – КА) существует запаздывание радиосигнала. Перед тем, как приступить к теме выбора оптимальных частот, уделим несколько моментов для упомянутых выше особенностей.

При распространении волн по поверхности Земли имеют место с пологие лучи. За счет атмосферной рефракции, распространяющиеся волны изменяют свою траекторию движения. На рис. 1 показано излучение волны вдоль земной поверхности с атмосферной рефракцией и без.

Рис. 1 показывает возможность обеспечения дальней связи с земными объектами. Однако при связи с КА это является нежелательным эффектом, поскольку траектория радиоволны может искривиться вплоть до 90 °. Схема прохождения волны через тропосферу показана на рис. 2.

Рис. 2 наблюдается только в том случае, когда для связи используются сантиметровые волны ($f = 3 \div 30$ ГГц). При использовании дециметровых волн следует учесть влияние рефракции и в ионизированной области.

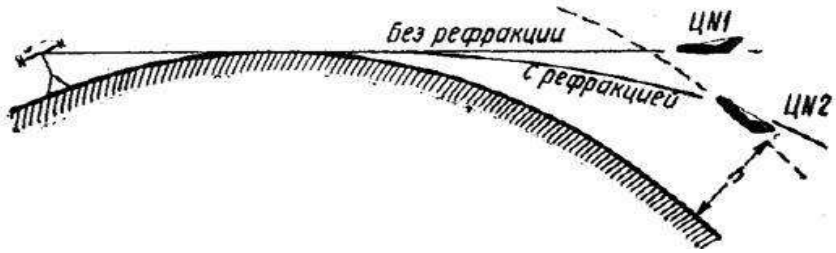


Рис. 1. Влияние атмосферной рефракции на распространение радиоволны вдоль поверхности Земли

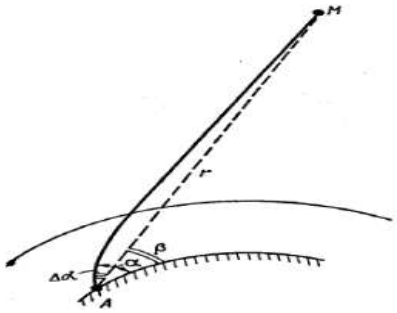


Рис. 2. Схема прохождения радиоволны через тропосферу при связи с КА

Следующей же особенностью систем космической связи является доплеровское смещение частоты, которое связано с быстрым перемещением космического корабля [2]:

$$\Delta f_{д} = f_0 \cdot \frac{v}{c}. \qquad (1)$$

В случае, когда связь ведется с геостационарным спутником, доплеровское смещение можно не учитывать. Его движение относительно земной поверхности приблизительно равно нулю и, соответственно, проходимое волнами расстояние от передатчика до приемника и обратно остается неизменным.

Определим доплеровское смещение частоты при связи с космическим кораблем, удаляющимся от Земли со второй космической скоростью. Несущая частота передатчика равна 2500 МГц:

$$\Delta f_{д} = f_0 \cdot \frac{v}{c} = -2500 \cdot \frac{11,2 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} = -93,3 \text{ кГц}. \qquad (2)$$

Наконец, при связи с КА существует большая задержка сигнала. Она обусловлена расстоянием между пунктами и скоростью распространения радиоволны. Поскольку плотность межзвездного газа составляет 1 атом

на см^3, когда как плотность атмосферы составляет $2,7 \cdot 10^{19}$ молекул/см^3 [1], то скорость распространения радиоволны в космическом пространстве достигает своего максимального порога. Значит, определяющим фактором для задержки сигнала является расстояние между приемопередатчиком. В таблице указаны запаздывания сигнала при связи между Землей и космическим кораблем [2].

Запаздывания сигнала при связи между Землей и КА

Планета	Среднее расстояние от Земли, км	Задержка ответа корреспондента
Луна	380000	2,5 с
Венера	41400000	4,6 мин
Марс	78300000	8,7 мин
Меркурий	110100000	12,3 мин
Юпитер	1160000000	1 ч 9,3 мин
Сатурн	1280000000	2 ч 22 мин
Уран	2250000000	5 ч 02 мин
Нептун	7200000000	8 ч 03 мин
Плутон	18600000000	10 ч 40 мин

Оптимальные частоты для связи с КА – те частоты, которые легко проходят через атмосферу [1]. Со стороны низких частот они ограничены максимальными для коротковолновой связи частотами, которые способны пробить слои атмосферы. На частотах выше 10 ГГц электромагнитные волны начинают испытывать поглощение в тумане, дожде, осадках и т.д. (рис. 3).

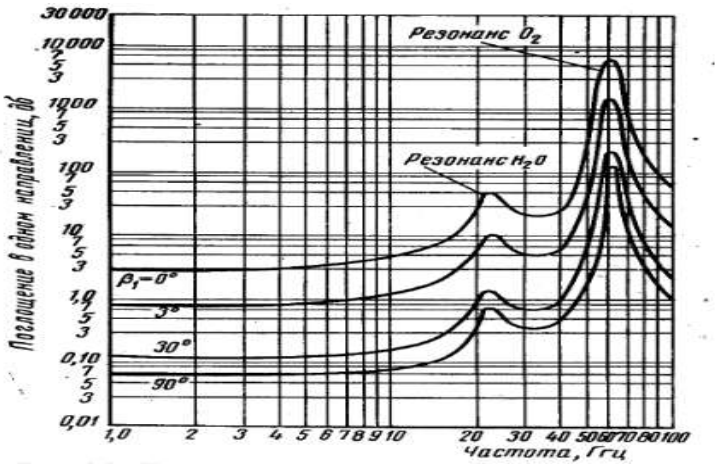


Рис. 3. Потери за счет молекулярного поглощения в кислороде воздуха и парах воды

Кроме того, при прохождении волны через ионизированную область атмосферы продольная составляющая магнитного поля Земли вызывает

поворот плоскости поляризации, за счет чего возникают потери мощности сигнала. Особенно сильно это наблюдается на частотах до 3 ГГц (рис. 4).

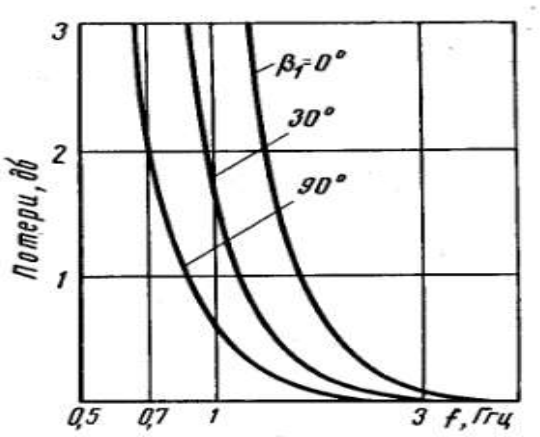


Рис. 4. Потери за счет вращения плоскости поляризации при прохождении через однородную ионизированную область

Изменить поляризацию приемной антенны и тем самым попытаться уменьшить потери не удастся, поскольку плоскость поляризации в месте приема имеет случайную ориентировку.

Заканчивая статью, хочется отметить два момента. Во-первых, при связи с КА задача сводится к определению траектории луча по заданному расстоянию r и углу β (рис. 2). Во-вторых, оптимальный диапазон частот для связи с космическими аппаратами находится в диапазоне от 4 до 10 ГГц. Это абсолютно радиопрозрачный диапазон с минимальными потерями: тут практически нет влияния на радиоволну различных осадков, тумана, снега и т.д.; также нет потерь за счет вращения поляризации волны.

Для устранения потерь на частотах до 3 ГГц, вызванных за счет вращения плоскости поляризации, нужно применять антенны с круговой поляризацией как на передающей, так и на приемной стороне. В связи с этим значительно уменьшатся потери мощности сигнала в точке приема.

Источники

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн: учебник для вузов. М.: Связь, 1972. 336 с.

2. Андрусевич Л.К., Ищук А.А., Лайко К.А. Антенны и распространение радиоволн: учебник для вузов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. 396 с.

УДК 681.58

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Г.Р. Муртазина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
gulgena96@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Д.А. Ярославский

Аннотация. Рассмотрен вопрос автоматизации тепловых пунктов; проанализированы программируемые логические контроллеры от разных производителей и приведена таблица с техническими характеристиками контроллеров.

Ключевые слова: автоматизация тепловых пунктов, контроллеры, энергосбережение, управление.

Тепловой пункт (ТП) является одним из главных элементов системы централизованного теплоснабжения зданий, который обеспечивает прием теплоносителя, преобразование его параметров, в случае необходимости, и распределение между потребителями тепловой энергии.

Автоматизированные тепловые пункты применяются с целью решения важнейших задач в области теплоснабжения, а именно повышение качества теплоснабжения, заключающегося в обеспечении комфортных климатических условий в зданиях и требуемых по санитарным нормам температур и расходов горячей воды для хозяйственно-питьевых нужд при минимальных энергозатратах. В настоящее время для автоматизации ТП применяются программируемые контроллеры, такие как Segnetics от компании КИП-Сервис, ТРМ232М от компании ОВЕН, ECL Comfort 310 от компании «Данфосс», Corrigo от фирмы Regin.

Контроллер управления Segnetics SMH2G для ИТП (рис. 1) применяется для энергосбережения ресурсов всего ИТП, а также повышения надежности системы в целом. Гибкая система настроек позволяет адаптировать контроллер управления практически к любой схеме ИТП. Удобный монтаж вместе с быстрой настройкой всех параметров позволяет снизить затраты на ввод в эксплуатацию до 1 часа [3].

ОВЕН ТРМ232М (рис. 2) – контроллер для регулирования температуры в системах отопления, ГВС и управления насосными группами. Он предназначен для управления ИТП и ЦТП жилых и производственных зданий. В комплекте с датчиками и исполнительными механизмами ОВЕН ТРМ232М обеспечивает контроль и регулирование температуры и давления, управляет циркуляционными насосами контуров, насосами ХВС и контуров подпитки [1].

Рис. 1. Контроллер Segnetics SMH2G для ИТП

Рис 2. Контроллер ОВЕН ТРМ232М

Рис. 3. Контроллеры Corrigo серии E

Свободно конфигурируемые контроллеры Corrigo нового поколения серии E (рис. 3) предназначены для управления температурой, влажностью и давлением, концентрацией CO_2 в системах вентиляции и кондиционирования воздуха или системами отопления и водоснабжения [4].

Контроллер ECL Comfort 310 (рис. 4) – это электронный регулятор температуры с погодной компенсацией из серии регуляторов ECL Comfort, предназначенный для использования в системах централизованного теплоснабжения, центрального отопления и охлаждения [2].

Рис. 4. Контроллер ECL Comfort 310

Для сравнения различных видов контроллеров их характеристики приведены в таблице.

Сравнительные характеристики контроллеров

	ОВЕН ТРМ232М	Segnetics SMH2G	ECL Comfort 310/310B	Corrigo E
Степень защиты корпуса, IP	20	65	41	20
Температура окружающей среды	от –20 до +55	от 0 до +55	от 0 до +55	от 0 до +55
Температура хранения и транспортировки, °С	от –25 до +80	от –40 до +85	от -40 до +70	от –40до +50
Влажность	–	90 %	–	90 %
Количество дискретных входов	8	5	6	8
Количество дискретных выходов	8	2	4	7
Интерфейсы	RS-232 RS-485	Ethernet 100 Base-T / 100Base-TX, RS-232 RS-485 USB-Host Стандарт USB 2.0 USB-Device Стандарт USB 2.0 SD-card	USB порт Modbus RTU RS-485 Modbus RTU, Modbus/TCP протокол связи по сети Ethernet	RS485 EXOline Modbus
Контуры отопления и ГВС	4	5	2	5
ЦЕНА, руб.	13 800	14 236	23 036	24 948

Как видно из таблицы, у контроллеров различные степени защиты корпуса, рабочие температуры окружающей среды, хранения и транспортировки, количества дискретных входов/выходов и контуров для отопления и ГВС, типы интерфейсов. Достоинством контроллера ОВЕН ТРМ232М является его доступность, а к недостаткам можно отнести низкий степень защиты корпуса, недостаточное количество интерфейсов. А у Segnetics SMH2G основным недостатком является ограниченное количество дискретных входов и выходов при таких достоинствах как степень защиты корпуса и множество интерфейсов. Контроллеры ECL Comfort 310/310B и Corrigo E отличаются высокой стоимостью, тогда как характеристики незначительно отличаются от выше указанных.

Таким образом, на сегодняшний день существует необходимость создания отечественных контроллеров, соответствующих современным требованиям. В настоящее время нами проводятся работы по разработке контроллеров нового поколения, которые будут иметь низкие цены при достаточно высоких технических характеристиках.

Источники

1. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления: учебное пособие / И.Г. Минаев [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Ставрополь: АГРУС, 2010. 128 с.

2. Преобразователи частоты – просто о сложном / пер. с англ. М.: Данфос, 2006. 165 с.

3. URL: https://www.megakip.by/SegneticsSMH2G (дата обращения: 09.02.2019).

4. URL: http://regin.ua/documentation/-/134-corrigo (дата обращения: 09.02.2019).

УДК 621.43:681.5

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ДЛЯ ЭМУЛЯЦИИ ФОРСУНОК ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Нгуен Ван Ву
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
nvvu@cnd.edu.vn
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук М.Ф. Садыков

Аннотация. В настоящее время представляется необходимым разработка аппаратно-программного комплекса, интегрирующего функциональность инженерного ЭБУ. Для его создания необходима разработка аппаратной части для эмуляции форсунок двигателя внутреннего сгорания. В данной работе представлены результаты разработки аппаратной части данного комплекса.

Ключевые слова: ДВС, ЭБУ, двигатель, электронный блок управления, разработка ЭБУ, разработка ДВС.

Повышение требований к выбросам вредных веществ и улучшение экономичности двигателей внутреннего сгорания вынуждают производителей совершенствовать электронные системы управления двигателем и создавать улучшенные алгоритмы управления. В настоящее время создание новых электронных блоков управления (ЭБУ) или улучшенных алгоритмов управления основано на принципе моделирования разрабатываемого устройства с использованием вычислительных средств.

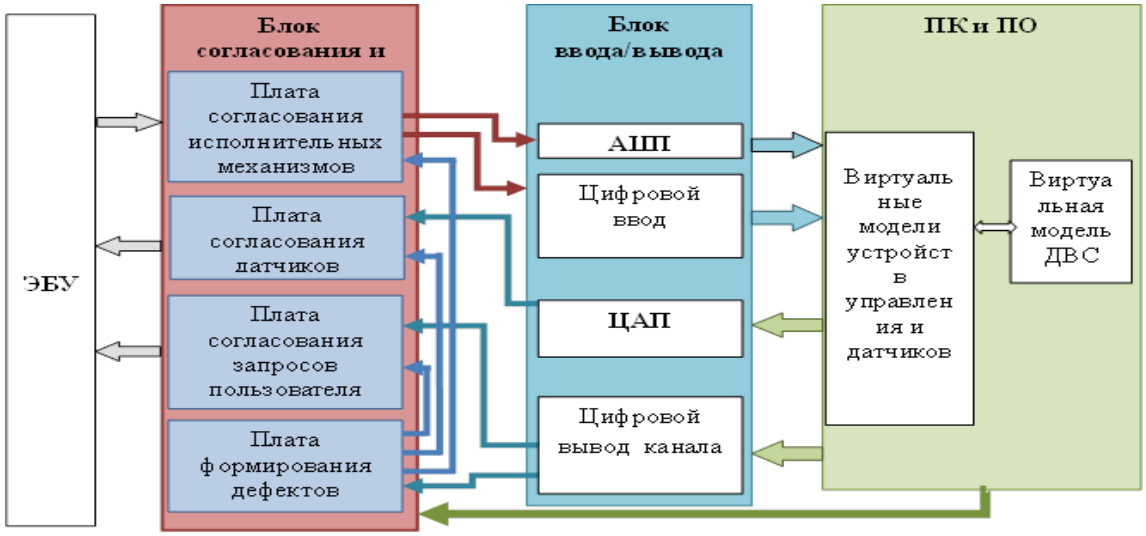


Рис. 1. Структура разрабатываемого АПК

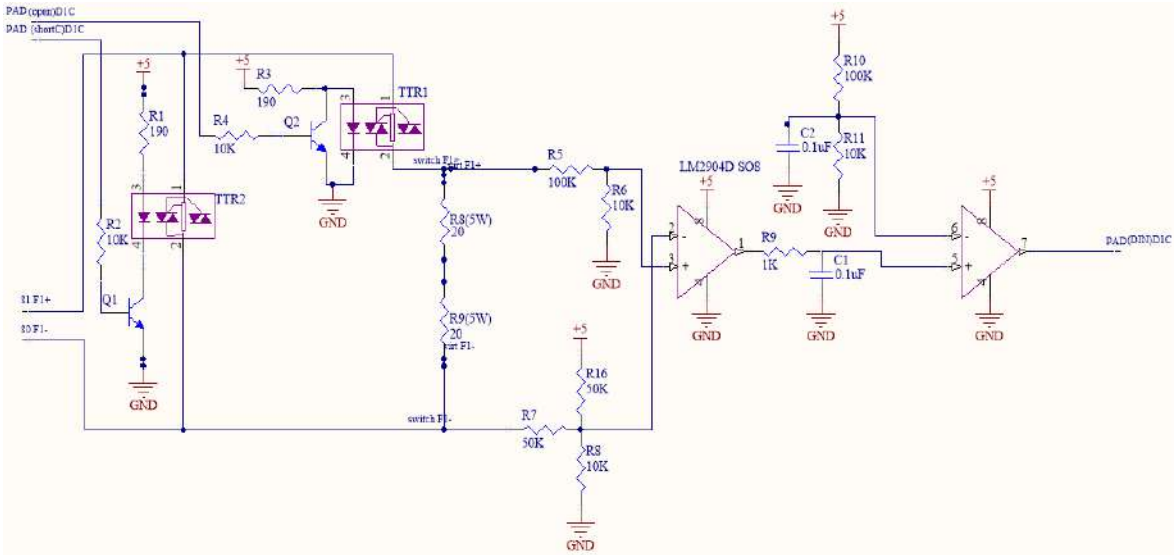


Рис. 2. Принципиальная схема подключения эмуляторов реальных форсунок

Аппаратная часть для эмуляции форсунок строилась на основе платы, принципиальная схема которой представлена на рис. 2. Всего таких плат установлено 8 штук.

Для эмуляции сопротивления исполнительных механизмов использовалась пара сопротивлений (рис. 2) номиналом по 20 Ом и мощностью по 5 Ватт каждое, соединённых последовательно.

На плату подаются сигналы с электронного блока управления «*nFi*+» и «*nFi*–», где *n* – номер вывода ЭБУ, а *i* – номер платы. Реализована возможность подачи сигналов запуска эмуляции дефектов короткого замыкания и разрыва с PXI (PAD (shortC)DiC и PAD (open)DiC, где *i* – номер платы). Если никаких дефектов не обнаружено, сигнал далее усиливается парой операционных усилителей, включенных по схеме компаратора.

Часть схемы, на которой изображено подключение твердотельного реле TTR2 для эмуляции дефекта «короткое замыкание» работает в двух режимах: эмуляция нормального режима работы и эмуляция короткого замыкания.

Эмуляция нормального режима работы осуществляется следующим образом: Сигнал с PXI не подаётся на контактную площадку под названием PAD (shortC). Цепь между выводом 4 твердотельного реле и землёй разорвана закрытым транзистором Q1. Следовательно, твердотельное реле не замыкает свои контакты 1 и 2, не влияя на поступающие с электронного блока управления.

Эмуляция короткого замыкания осуществляется следующим образом. Сигнал с PXI подаётся на контактную площадку под названием PAD (shortC)DiC в виде сигнала с уровнем напряжения 5 В, открытия транзистора *Q*1, вывод 4 твердотельного реле замыкается через открытый транзистор на землю, в результате чего, ток проходит через выводы 3 и 4 и уходит на землю. Это, в свою очередь, приводит к тому, что твердотельное реле осуществляет замыкание своих контактов 1 и 2, замыкая сигналы, поступающие с электронного блока управления.

Область схемы, на которой изображено подключение твердотельного реле TTR1 для эмуляции дефекта «разрыв» работает в двух режимах: эмуляция нормального режима работы и эмуляция разрыва.

Эмуляция нормального режима работы осуществляется следующим образом. Сигнал с PXI не подаётся на контактную площадку под названием PAD (open)DiC, транзистор *Q*2 закрыт, в результате чего, ток проходит не через транзистор *Q*2, а через выводы 3 и 4. Следовательно, твердотельное реле держит замкнутыми свои контакты 1 и 2, не влияя на поступающие с электронного блока управления сигналы.

Эмуляция разрыва осуществляется следующим образом. Сигнал с PXI подаётся на контактную площадку под названием PAD (open)DiC

в виде сигнала с уровнем напряжения 5 В, открытия транзистора *Q*2, что твердотельное реле размыкает свои контакты 1 и 2, разрывая цепь сигнала.

После прохождения областей эмуляции дефектов сигнал идёт на операционные усилители. Операционные усилители подключены по схеме компаратора, то есть операционный усилитель включен без отрицательной обратной связи. При этом операционный усилитель обладает большим коэффициентом усиления. При работе в режиме компаратора операционный усилитель сравнивает два напряжения и в зависимости от того, на каком из входов оно выше, устанавливает на выходе плюс или минус напряжения питания. После усиления сигнал подаётся на PXI через цифровой вывод «PAD (DIN) DiC.

В результате получается схема: «подключение эмуляторов реальных форсунок». Эта схема служит для имитации режима работы инжектора на виртуальной модели, а также способна работать на практике. Она позволяет экономить на стадии проектирования двигателей внутреннего сгорания, проводить детальный анализ физических процессов, протекающих в двигателе, проводить виртуальные испытания различных режимов работы двигателя.

Источники

1. GT-POWER. Engine Simulation Software [Элеткронный ресурс]. URL: http://www.gtisoft.com/upload/Engine_Performance.pdf (дата обращения: 14.10.2018).

2. SimulationX [Электронный ресурс]. URL: http://www.itisim.com/simulationx/ (дата обращения: 14.10.2018).

3. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК [Электронный ресурс]. URL: http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php (дата обращения: 14.10.2018).

4. ETASProducts [Электронный ресурс]. URL: http://www.etas.com/en/index.php (дата обращения: 14.10.2018).

5. dSPACE [Электронный ресурс]. URL: http://www.dspace.com/en/ltd/home.cfm (дата обращения: 14.10.2018).

6. Программа эмулятора внутреннего сгорания с графическим программированием: свид. 2014611795 о гос. рег. прогр. для ЭВМ № 2013661602; заявл. 12.12.13; опубл. 20.03.14.

7. Жуков К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М: ДМК Пресс, 2011. 688 с.

8. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. СПб.: BHV, 2006. 478 с.

8. Пейч Л.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П. LabVIEW для новичков и специалистов. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 384 с.

УДК 621.311.243

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА ОБЪЕКТАХ МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.Р. Сайфутдинова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sayfutdinova-alinka@mail.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук А.А. Наумов

Аннотация. Рассмотрены вопросы использования солнечных батарей для электроснабжения нагрузки маломерных надводных плавучих средств передвижения. Проанализированы основные достоинства и недостатки различных типов солнечных батарей (панелей): монокристаллические, поликристаллические и аморфные. Рассмотрены возможности и целесообразность применения солнечных батарей на речных и морских маломерных судах.

Ключевые слова: солнечные батареи (панели), возобновляемые источники, энергосистема, аккумуляторы, экологичность, маломерные суда, двигатель, электроснабжение, контроллер.

Современные методы передвижения на возобновляемых источниках энергии приобретают популярность. Солнечные батареи не обошли стороной и водные виды транспорта. Их устанавливают на борту катеров и яхт как дополнительный и основной источник энергии. Электричество, которое генерируется солнечными панелями, используется для запуска двигателя, бортового освещения, различной техники и т.д.

Маломерные суда с жидко-топливными двигателями сегодня распространены повсюду. Отравляя воду и воздух продуктами сгорания топлива, вызывая эрозию берегов, водоемов сильными волнами, уничтожая природные экосистемы, моторные лодки уже не вызывают прежнего энтузиазма и заставляют обращать внимание на альтернативные экологические источники энергии. Судна на экологически чистой возобновляемой энергии могут стать наилучшим решением проблемы отдыха на природе, рыбалки и туризма [1].

Автономные солнечные энергосистемы в перспективе могут привести к полному отказу от двигателей на органическом топливе, повысить комфорт и безопасность на борту судна и выйти на качественно новый уровень отдыха на воде. В настоящее время целесообразно использовать солнечную энергию для питания электрических устройств облегчающих существование на маломерных судах и делающих его более комфортным [1].

На рисунке представлена схема использования солнечных батарей на маломерном судне. Один из основных компонентов системы электроснабжения – гибкий солнечный модуль. Благодаря гибкой

конструкции, он может быть установлен практически на любой поверхности, сохраняя геометрию и эстетичный вид лодки.

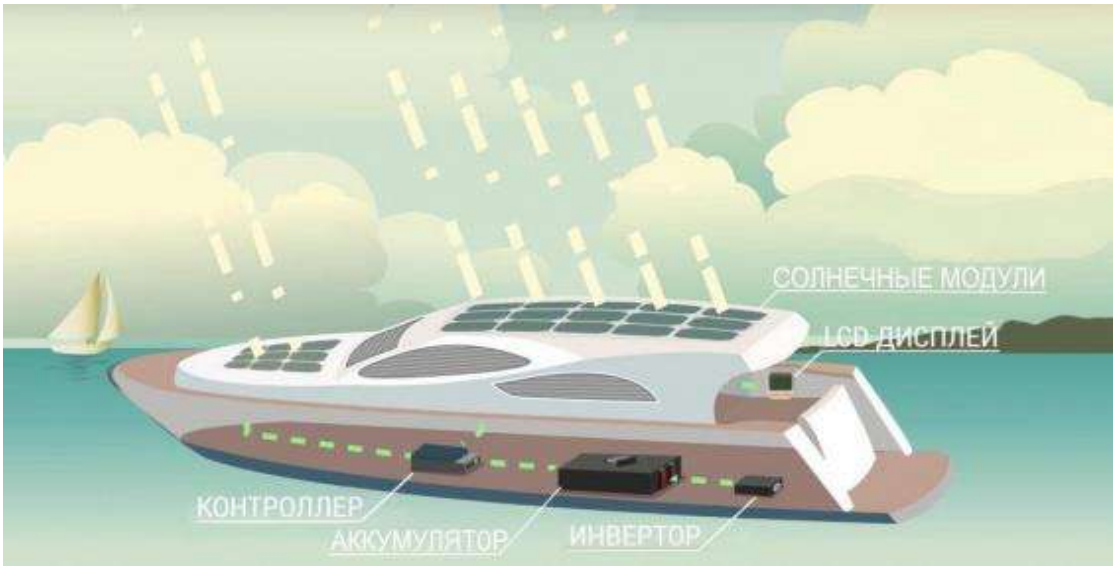


Схема автономного электроснабжения маломерного суда

Генерация электроэнергии возможна даже при рассеянном солнечном свете в пасмурную погоду. Контроллер заряда преобразует сгенерированную энергию и заряжает аккумуляторы. На панель приборов судна выводится интерактивный LCD–дисплей, наглядно отображающий информацию о состоянии заряда аккумуляторов. Инвертор преобразует накопленную энергию в аккумуляторных батареях в электрический ток, что позволяет подключать электрические приборы [2].

Этот процесс может быть полностью автоматизирован и не требует контроля со стороны человека.

Для эффективного использования установок возобновляемой энергетики в составе автономных систем электроснабжения потребителей необходимо выполнение следующих основных технических требований:

– нестабильность первичной возобновляемой энергии солнечного излучения требует присутствия в системе гарантированного источника питания;

– разрабатываемая система должна обеспечивать запас энергии в объемах, достаточных для полного покрытия графика электрических нагрузок в накопителе, во время отсутствия первичного возобновляемого энергоресурса;

– система должна содержать полностью автоматизированные устройства, обеспечивающие рациональные и безопасные режимы заряда и разряда накопителя энергии.

Возможно использование и других типов солнечных батарей: поликристаллических, монокристаллических и аморфных. Разница состоит в способе производства самих солнечных элементов. Каждая солнечная батарея состоит из пакета таких элементов, чем больше элементов, тем более мощная получается панель [3].

Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов более эффективны, но и более дороги в пересчете на ватт мощности. Их КПД, как правило, в диапазоне 14–16 %.

Достоинства солнечных панелей следующие:

– имеют наилучший коэффициент полезного действия среди всех современных моделей;

– хорошо функционируют в условиях низких температур;

– обладают длительным сроком эксплуатации (до 25 лет);

– требуют меньше места по сравнению с другими аналогами при одной и той же отдаче тепла.

Изготовление панели из поликристаллического кремния намного легче, так как этот материал состоит из случайно собранных разных монокристаллических решеток кремния.

Солнечные панели из поликристаллических фотоэлектрических элементов наиболее распространены ввиду оптимального соотношения цены и КПД среди всех разновидностей панелей. Их КПД составляет 12–15 %. У элементов, образующих панель, характерный синий цвет и кристаллическая структура.

К достоинствам поликристаллических солнечных панелей относят следующее:

– процесс производства более дешевый и простой, это сказывается на стоимости товара;

– хорошая результативность при функционировании в облачных погодных условиях, этому способствует неравномерная поверхность панели;

– отличаются более разнообразными параметрами по размерам и формам;

– более устойчивы к перепадам температуры окружающей среды.

Несмотря на то, какая существует разница в технологическом процессе, у названных солнечных модулей есть одинаковые недостатки, которые преимущественно связаны с характерными особенностями кремния:

– поликристаллические солнечные модули, как и монокристаллические, обладают повышенной хрупкостью. Поэтому располагать их

необходимо на твердом ровном основании. Если на поверхности ячейки образуется трещина, то панель не пригодна для дальнейшего использования;

– продуктивность в преобразовании энергии солнца не слишком высока. Поликристаллические панели имеют КПД до 15–18 %, а монокристаллические – 22 %. Даже панели, задействованные в космических технологиях, выдают КПД не более 38 %;

– производительность и тех, и других батарей полностью зависит от солнечной погоды. То есть наибольшая эффективность будет в южных областях, где солнце светит дольше и количество ясных дней преобладает над пасмурными;

– чтобы обеспечить работу солнечных батарей, понадобится электростанция или аккумулятор для преобразования энергии и стабилизации напряжения на выходе;

– стоимость изделия с использованием энергосберегающих технологий достаточно высока по сравнению с ценой обычных товаров.

Солнечные батареи из аморфного кремния обладают одним из самых низких КПД. Обычно его значения находятся в пределах 6–8 %. Однако среди всех кремниевых технологий фотоэлектрических преобразователей они вырабатывают самую дешевую электроэнергию из-за дешевизны производства и, как следствие, низкой себестоимости элементов.

Эта технология имеет ряд достоинств и недостатков.

Достоинства:

– процесс производства солнечных панелей на основе аморфного кремния относительно простой и недорогой;

– возможно производство элементов большой площади;

– низкое энергопотребление.

Недостатки:

– эффективность преобразования значительно ниже, чем в кристаллических элементах;

– элементы подвержены процессу деградации. Это вызвано более быстрым, чем у кристаллических видов, выгоранием слоев кремния под воздействием солнечной радиации. Поэтому эффективность солнечных батарей на основе аморфного кремния уже через два месяца эксплуатации снижается почти на 20 %. В целом их срок службы составляет не более 8–10 лет.

Итак, современные гибкие солнечные модули позволяют разрабатывать различные конструктивные и технологические решения для их эксплуатации на судах речного и смешанного плавания. С помощью

таких солнечных установок можно достичь как полного (например, во время стоянки судна), так и частичного (на определенных режимах работы судна) замещения электроснабжения на речных и морских судах.

При разработке проведены исследования солнечных батарей (панелей) произведенных в городе Зеленоград.

В настоящее время нами проводятся работы по созданию проекта использования солнечных батарей на различных типах маломерных судов.

Источники

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / под. ред. В.И. Виссарионова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 320 с.
2. Применение солнечных батарей на объектах морской инфраструктуры / С.В. Кононенко [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2018.
3. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.

УДК 535.24

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК

И.И. Сулейманова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Борисов

Аннотация. Рассмотрены различные методы контроля толщины и определения оптических параметров тонких пленок. Представлены физические принципы методов, их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: тонкие пленки, измерения, оптические параметры, эллипсометрический метод, спектрофотометрический метод, калориметрический метод, методы контроля.

Тонкая пленка вещества, нанесенная на подложку конкретного материала, представляет собой некую структуру с присущими ей текстурой и характеристиками, которые порой значительно отличаются от массивного материала. Поэтому оптические параметры тонких слоев определяются не только методом получения пленки, но еще они зависят от режимов нанесения, к примеру, скорости осаждения и температуры подложки [1].

На сегодня существует множество различных методов контроля параметров тонких пленок как в процессе нанесения, так и готовых слоев, которые отличаются друг от друга разной областью применения, точностью и т.д. В данной работе предложены наиболее применимые сегодня методы для определения оптических параметров тонких пленок.

Наиболее точными методами для определения оптических параметров готовых, уже нанесенных на подложки, пленок являются:

1) методы, основанные на измерении предельного угла полного внутреннего отражения, т. е. эллипсометрические методы [2];

2) методы, основанные на определении концентрации вещества по интенсивности окраски растворов, по-другому называется калориметрическими методами [3];

3) методы, основанные на измерении спектров поглощения в оптической области излучения, т.е. спектрофотометрические методы.

Эллипсометрический метод позволяет комплексно определять комплексный показатель преломления и толщину пленок от 10 нм до единиц микрометров.

Спектрофотометрические методы, с точки зрения математического способа обработки результатов, разделяются на две группы: численные и аналитические. Численные методы относятся к приближенным решениям задач, аналитические методы позволяют сделать удобный поиск выражений для расчета оптических параметров [4].

Для контроля параметров толщины наносимого слоя непосредственно в процессе его роста, методы контроля можно поделить на:

– оптические методы, они делятся на 2 вида: фотометрические и визуальные (зрительные). Фотометрический метод основан на измерении интенсивности прошедшего через пленку от нее излучения. В этом методе измеряется оптическая толщина пленки. Визуальный метод заключается в изменении цвета отраженного от пленки излучения при измерении его толщины. Визуальный метод достаточно точный, но он контролирует толщину наносимого слоя только в видимой области спектра, с ним невозможно контролировать толщину многослойных систем [5];

– ионизационный метод – это универсальный метод, позволяющий измерять давление паров испаряемого вещества. Этот метод позволяет вести контроль скорости осаждения и толщину пленки;

– механический метод – метод, основанный на измерении высоты ступеньки, которую создает пленка. Он достаточно точный и используется для определения геометрической толщины пленок [7];

– электрический метод заключается в измерении электрических параметров, которые зависят от толщины пленки. Электрический метод не универсальный, так как охватывает только малый диапазон толщины;

– метод микровесов нашел применение для готовых покрытий. Но он имеет недостатки: слишком сложный для реализации и практически не применяется для контроля толщины пленок, хотя обладает высокой чувствительностью;

– метод кварцевого резонатора имеет большую популярность среди других методов. Он популярен не только в нашей стране, но и за рубежом. Это обусловлено тем, что этот метод обладает высокой точностью контроля и используется также для контроля скорости нанесения покрытий. Но он слишком трудоемкий для реализации [8];

– голографический метод – метод, применяемый с двухлучевым голографическим устройством. Причем этот метод разделяется еще на другие методы: метод раздельных голограмм, метод голографической двухэкспозиционной интерферометрии и др. Этот метод позволяет с точностью определить и измерить толщину слоя в процессе формирования тонкопленочных покрытий, и процесс нанесения можно также своевременно закончить [9].

Источники

1. Борисов А.Н. Исследование оптических свойств тонких пленок фотометрическим методом // Сб. науч. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. «Новое слово в науке и технике». СПб., 2014.

2. Берндт К.Г. Методы контроля и измерения толщины пленок и способы получения пленок, однородных по толщине // Физика тонких пленок / под ред. Г. Хасса и Р.Э. Туна. М.: Мир, 1968. Т. 3. С. 7–57.

3. Прикладная физическая оптика: учеб. Пособие/ В.А. Москалев [и др.]; под общ. ред. В.А. Москалева. СПб.: Политехника, 1995. 528 с.

4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики / пер. с англ. М.: Наука, 1973. 719 с.

5. Хасс Г. Физика тонких пленок. М.: Мир, 1967–1975. Т. I–VIII.

6. Розенберг Г.В. Оптика тонкослойных покрытий. М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1958. 572 с.

7. Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия. Л.: Машиностроение, 1973. 224 с

8. Суйковская Л.В. Химические методы получения тонких прозрачных пленок. Л.: Химия, 1971. 200 с.

9. Голографическая интерферометрия фазовых объектов / А.К. Бекетова [и др.]; отв. ред. Г.И. Мишин. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 232 с.

10. Голографическая интерферометрия фазовых объектов / А.Н. Бекетова [и др.]. Л.: Изд-во «Наука», 1979. 232 с.

УДК 621.3.048

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LABVIEW ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Т.А. Тимофеева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
tanya23593@mail.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук А.В. Голенищев-Кутузов

Аннотация. Разработана двухканальная система, позволяющая осуществлять проверку высоковольтных изоляторов в рабочем состоянии, а также проводить анализ и обработку сигналов частичных разрядов (ЧР) в модельных образцах диэлектриков и в изоляторах из высокополимерных материалов, используемых для изготовления опорных и проходных изоляторов.

Ключевые слова: частичные разряды, высоковольтные изоляторы, система программирования LabView, двухканальная система, характеристики частичных разрядов, датчики, обработка данных.

Данная система диагностики включает в себя электромагнитный и ультразвуковой датчики, предназначенные для детектирования импульсов тока, вызванных ЧР в цепях разрядной ячейки, устройство регистрации ЧР, состоящее из ПК и установленной на нем среды программирования LabView, которая выводит данные о ЧР и управляет процессом их измерения. При подаче напряжения на мониторе ПК будут наблюдаться сигналы с датчиков. Программа выполняет подсчет импульсов ЧР одновременно по превышению ими определенных пороговых значений и отображает их на экране. Далее по этим значениям будут построены графики зависимостей амплитуды ЧР от фазы приложенного напряжения.

Система позволяет напрямую проводить детектирование ЧР и обеспечивать построение амплитудно-фазовых характеристик (АФХ). Для ее реализации в среде программирования LabView созданы виртуальные приборы для записи сигнала с датчиков, для обработки

массива и для отображения полученных результатов в виде амплитудно-фазовых, частотно-фазовых диаграмм, зависимостей числа ЧР от амплитуды.

Принцип действия заключается в следующем. Ультразвуковой датчик с помощью антенны ParaDish2 и приемника SDT270 принимает сигнал, затем отправляет его на вход АЦП NI PCI 6221M. Исходный массив характеристик ЧР записывается во внутреннюю память прибора, после чего преобразуется в wav-формат. Далее из него формируется исходный массив. Виртуальный прибор обработки данных отображает результаты полученных исследований. Также сигналы ЧР принимает электромагнитный датчик с помощью антенны Дельта H111-001 и приемника AR5000A. Далее сигнал поступает на АЦП NI PCI 6221M. Затем массив характеристик ЧР записывается во внутреннюю память прибора и преобразуется в wav-формат. Идет формирование исходного массива и виртуальный прибор отображает результаты [1, 2].

Программа обработки данных выполняет разделение исходного массива данных на фазовые интервалы с определением фазового угла и амплитуды возникновения каждого ЧР. Программа будет содержать блок считывания исходного массива данных, блок синхронизации и разделение массива на интервалы, блок обработки периодов сетевого напряжения, блок построения амплитудно-фазовых и частотно-фазовых диаграмм, блок сохранения полученных данных.

Принцип регистрации ЧР, берущий за основу метод фазового детектирования, представляет собой измерение параметров ЧР и проходит одновременно с формой питающего напряжения.

Квантование или дискретизация по уровню выполняются посредством задания опорной амплитуды в течение каждого периода. На протяжении каждого фазового интервала подсчитывается число ЧР, превосходящих значение опорной амплитуды, измеряется амплитуда и фазовый угол возникновения каждого ЧР. Перед началом работы в программе задается место расположения исходных данных.

Разработанная в среде LabView программа обработки данных состоит из блоков, каждый из которых может быть рассмотрен отдельно.

Блок считывания исходного массива данных производит последовательное чтение массивов сначала sin, а затем sig, записанных программой записи данных. Данные массива синхронизирующей синусоиды и сигнала электромагнитного датчика записываются одновременно, тем самым обеспечивая привязку зарегистрированных ЧР к фазе высокого напряжения непосредственно на испытуемом изоляторе.

При стендовых испытаниях для синхронизации применялось напряжение с вторичной обмотки понижающего трансформатора. При запуске для считывания данных программа выдает запрос места расположения файлов произведенного измерения.

Блок синхронизации выполняет разделение исходного массива данных на интервалы в соответствии с синхронизирующей синусоидой сетевого напряжения. Выполняется определение среднего уровня шумов для задания порога регистрации ЧР. Значение среднего уровня шумов умножается на множитель «Умножение среднего», результирующее значение порога регистрации ЧР выводится на индикаторе «Предел». Данное значение применяется в блоке обработки каждого из периодов.

Определение каждого периода сетевого напряжения выполняется методом определения точки перехода синусоиды через ноль. Для этого анализируются соседние элементы массива синхронизирующей синусоиды и, если один из них равен нулю, то определяется значение следующего элемента массива, если он больше нуля, то это начало первого полупериода сетевого напряжения, меньше нуля – начало второго полупериода.

В зависимости от используемого для синхронизации с сетевым напряжением понижающего трансформатора началом отсчета блока синхронизации можно считать начало первого или второго полупериода, устанавливая переключатель «Направление» вверх или вниз в зависимости от направления прироста напряжения.

Блок синхронизации является циклом по условию окончания исходного массива данных. По окончании обработки всего массива синхронизирующей синусоиды программа вычисляет число периодов сетевого напряжения, записанных при данном измерении. Это значение является количеством циклов для следующего блока обработки каждого отдельного периода сетевого напряжения.

Блок обработки отдельного периода сетевого напряжения является циклом с количеством повторений N, равным количеству периодов сетевого напряжения в исходном массиве данных. Блок обеспечивает разделение исходных массивов на интервалы для обработки. Для данного блока исходными данными являются порог регистрации ЧР, массив данных синусоиды питающего напряжения, массив данных с датчиков, массив данных, разделяющий исходный сигнал на периоды.

Обрабатываемый в данный момент период сетевого напряжения отображается на индикаторе «Период». Часть массива данных, выявленная в блоке синхронизации, равная по длительности одному периоду сетевого

напряжения, обрабатывается во внутреннем цикле. Во внутреннем цикле все элементы массива сравниваются с пороговым значением, вычисленном в блоке считывания исходного массива; при превышении порогового значения определяется амплитуда и индекс каждого импульса ЧР. За начало отсчета индекса импульсов принимается начало каждого периода сетевого напряжения. Результатом работы блока являются два массива, непосредственно массив амплитуд и соответствующий ему массив индексов импульсов. В этом массиве каждому ЧР соответствует два элемента: амплитуда импульса и индекс импульса. На индикаторах «Амплитуда импульса», «Индекс импульса», «Количество импульсов» отображаются значения соответственно амплитуд, индексов и количества ЧР за каждый отображаемый в данный момент на индикаторе «Период» единичный период сетевого напряжения. Затем два массива индексов и амплитуд разрядов преобразуются в один и по данным этого массива строятся амплитудно-фазовые и частотно-фазовые характеристики ЧР.

В блоке построения диаграмм определяется количество ЧР за каждые десять фазовых градусов периода сетевого напряжения, таким образом, период делится на 36 равных интервалов. На фазовых диаграммах, являющихся результатом работы программы обработки данных, каждому ЧР соответствует точка с фазой возникновения, привязанная к периоду сетевого напряжения и амплитудой, зависящей от мощности ЧР. При распределении ЧР все единичные точки образуют своеобразные скопления точек с близкой амплитудой и фазой возникновения. Также происходит построение зависимости числа ЧР от амплитуды и нахождение среднего числа ЧР в каждом фазовом интервале.

Для сравнительного анализа программа строит нормированные графики распределения ЧР, где высота столбцов зависит от количества разрядов за определенный фазовый интервал сетевого напряжения. За максимум принимается фазовый интервал с наибольшим количеством зарегистрированных импульсов ЧР и относительно него в процентном соотношении к максимальному значению определяется высота столбцов, характеризующих относительное количество ЧР в других фазовых интервалах. После построения графиков полученные в ходе измерения данные сохраняются в файле.

Источники

1. Суранов А.Я. LabVIEW 8.2. Справочник по функциям. М.: ДМК-Пресс, 2007. 536 с.

2. Частичные разряды в полимерных изоляторах / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.]. Казань: Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 7–8. С. 76–83.

УДК 628.972

СТЕНД УПРАВЛЕНИЯ СХЕМОЙ ОСВЕЩЕНИЯ В КВАРТИРЕ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Д.Д. Чекалкин[1], К.А. Кузнецов[2], А.И. Нигматзянов[3]
[1,2,3]ГАПОУ «КЭК», г. Казань
denic12301@gmail.com
Научные руководители: С.А. Секретарев, Ю.Б. Сумарокова

Аннотация. Сегодня заказчики предъявляют высокие требования к системам освещения в домах и на промышленных предприятиях. Это связано с соблюдением закона об энергоэффективности и реальным желанием экономии средств на потреблении электрической энергии. Поэтому электрику необходимо постоянно профессионально совершенствоваться, чтобы полностью удовлетворять требования заказчиков и «идти в ногу со временем». Создание действующего учебно-тренировочного стенда модели управления освещением является эффективным техническим средством обучения, используемым для отработки навыков по монтажу, коммутации и программирования в системе LOGO.

Ключевые слова: система освещения, энергоэффективность, электрик, профессиональные компетенции, моделирование, учебно-тренировочный стенд.

Радикальные преобразования, происходящие во всех сферах российского общества, оказывают влияние и на сферу энергетики. Сегодня передовые технологии требуют постоянного совершенствования и «обновления» технической информации, а также компетенций самого специалиста.

Чтобы быть востребованным на рынке труда необходимо знать и понимать основные тренды и направления в индустрии энергетики, включая новые технологии, стандарты и способы работы, такие как «умный дом», энергосбережение.

Целью данной работы является изготовление стенда для отработки навыков монтажа, коммутации, программирования на примере схемы освещения в квартире с применением микроконтроллера, позволяющего снизить потребление электрической энергии в быту.

Решаемые задачи следующие:

– изучение функций автоматики «умного дома» по управлению освещением;

– изучение технического описания компетенции – электромонтаж;

– сбор и подготовка материалов для изготовления стенда;
– разработка проекта и изготовление учебно-тренировочного стенда;
– программирование схемы управления освещением;
– проверка работы стенда.

Электрик работает в коммерческих, частных, многоквартирных зданиях, сельскохозяйственных и промышленных отраслях. Существует прямая взаимосвязь между характером и качеством требований к конечному продукту и оплатой заказчика. Сегодня заказчики предъявляют высокие требования к системам освещения в домах и на промышленных предприятиях. Это связано с соблюдением закона об энергоэффективности и реальным желанием экономии средств на потреблении электрической энергии.

Все большую популярность набирают «интеллектуальные здания», в которых применяются автоматически управляемые системы освещения. Автоматизированная система освещения – это компьютеризированная сеть, способная, как и «умный дом», реагировать на различные внешние события и менять режим работы подключённых к ней устройств. В качестве последних выступают группы настенных или потолочных светильников, лампы аварийного освещения или садовые фонари, то есть любые осветительные приборы.

Автоматическое управление приносит в дом уют, комфорт, а также существенную экономию бюджета. Система учитывает множество факторов, такие как: время суток, местоположение человека, уровень естественного освещения. В доме присутствует возможность дизайнерского освещения, создания неповторимой атмосферы с помощью игры света и теней.

Поэтому электрику необходимо постоянно профессионально совершенствоваться, чтобы полностью удовлетворять требования заказчиков и «идти в ногу со временем». Одним из наиболее эффективных способов совершенствования профессиональных компетенций является участие в конкурсе молодых профессионалов по стандартам WorldSkills. В соответствии со стандартами WorldSkills будущие электрики должны владеть энергоэффективными технологиями и уметь производить наладку оборудования (выбирать и применять программное обеспечение для реле, шин); производить необходимые установки на приборах, таких как таймеры и реле защиты от перегрузок; загружать и импортировать программы системы автоматизации зданий, например DALI, KNX, Modbus).

Идея о создании самодельного учебно-тренировочного стенда возникла после прохождения отборочных испытаний для чемпионата

WorldSkills. Совместно с научными руководителями наша рабочая группа приняла решение вместо покупки готового учебно-тренировочного стенда для отработки навыков монтажа, коммутации, программирования, необходимых для выполнения конкурсных заданий чемпионата, которые сейчас стоят очень дорого, собрать стенд своими руками.

Важным элементом при подготовке специалистов в области электроэнергетики и электротехники является формирование компетенций по монтажу оборудования и электропроводки, а также компетенций, направленных на эксплуатацию, поиск, выявление и устранение причин неисправности в электроустановках. Наиболее эффективно эти компетенции могут быть сформированы при выполнении действий на реальном оборудовании или на физической модели (учебно-тренировочных стендах).

Существующие способы моделирования электротехнологического или иного оборудования позволяют произвести анализ работы установок до реализации последних. Любое моделирование представляет собой упрощение и описание процессов в четкую структуру, и именно степень упрощения (точность описания) позволяет смоделировать более точно работу установки. Моделирование позволяет создать точную эквивалентную копию действующего оборудования, на которой специалисты имеют возможность отточить свои навыки и повысить свой уровень подготовки.

Для изготовления действующего стенда, имитирующего схему управления освещением в квартире, предварительно была разработана принципиальная электрическая схема со спецификацией. Затем были приобретены все необходимые расходные материалы и конструктивные элементы для будущего стенда в соответствии со спецификацией.

Программирование стенда велось на языке релейной логики. Ladder Diagram – язык релейной (лестничной) логики. Он предназначен для программирования программируемых логических контроллеров (ПЛК). Синтаксис языка удобен для замены логических схем, выполненных на релейной технике. Программа на языке релейной логики имеет наглядный и интуитивно понятный электрикам графический интерфейс, представляющий логические операции, как электрическую цепь с замкнутыми и разомкнутыми контактами. Протекание или отсутствие тока в этой цепи соответствует результату логической операции (истина – если ток течёт; ложь – если ток не течёт).

На изготовление одного учебно-тренировочного стенда суммарно было затрачено 13000 руб., что на порядок экономичнее покупки готового

стенда с аналогичными функциями и возможностью программирования. Так, например, только логическое реле фирмы Siemens будет стоить порядка 25000 руб. Таким образом, достигается экономия более чем в 10 раз, по сравнению с покупкой готового стенда с аналогичными функциональными возможностями. Это позволяет организовать вместо одного рабочего места в десть раз больше рабочих мест для студентов, что ведет к более полному освоению профессиональных компетенций для реализации энергоэффективных технологий в их будущей профессиональной деятельности.

Применение способа моделирования, в данном случае создание действующего учебно-тренировочного стенда модели управления освещением в квартире, является эффективным техническим средством обучения, используемым для отработки навыков по монтажу, коммутации и программирования в системе LOGO. Такие учебно-тренировочные стенды могут применяться как в учебном процессе, так и в формате тренировочного цикла при подготовке участников к соревнованиям чемпионата WorldSkills в ГАПОУ «Казанский энергетический колледж».

Источники

1. Тимерханов Р.Р., Дерябин А.И. Концепция умного дома // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электрон. сб. ст. по матер. XII Междунар. студ. науч.-практ. конф. М., 2014. № 5(12). С. 55–62. URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/5(12).pdf (дата обращения: 01.02.2018).

УДК 621.929.2/.7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОПРИВОДОМ

В.С. Чернавин
УлГТУ, г. Ульяновск
vladimir-chernavin@rambler.ru
Науч. рук. канд. техн. наук В.И. Доманов

Аннотация. Рассматривается структурная схема управления виброприводом, на основе которой предлагается математическая модель системы управления. В качестве корректирующих звеньев использованы регуляторы контуров скорости, положения, тока.

Ключевые слова: вибрационный привод, корректирующие звенья, контур тока, контур скорости, контур положения, ШИМ контроллер, драйвер.

Во многих технологических процессах используется оборудование с колебательным движением рабочего органа (дробление, транспортирование, абразивная обработка сырья). Чаще всего в таких виброприводах используются электромагнитные виброприводы, состоящие из магнита, сердечника и ярма, закрепленного к исполнительному органу, которые имеют систему управления, способную поддерживать постоянство скорости, уровень колебаний и т. п. Недостатки таких систем – дороговизна электропривода и системы управления, а также ряд существенных минусов системы управления, таких как невозможность быстрой адаптации системы к изменению нагрузки, низкая точность поддержания сигнала, малая скважность сигнала, что делает разработки в области систем управления бесперспективными. Линейный вибропривод позволяет получить простые колебательные движения с частотой питающей сети.

Изучая работу линейного вибропривода, были предложены рекомендации для системы управления вибропроцессами, расширяющие возможности вибрационного привода и позволяющие использовать различные источники энергии для питания привода.

Рассмотрим обобщённую структурную схему вибропривода на рисунке.

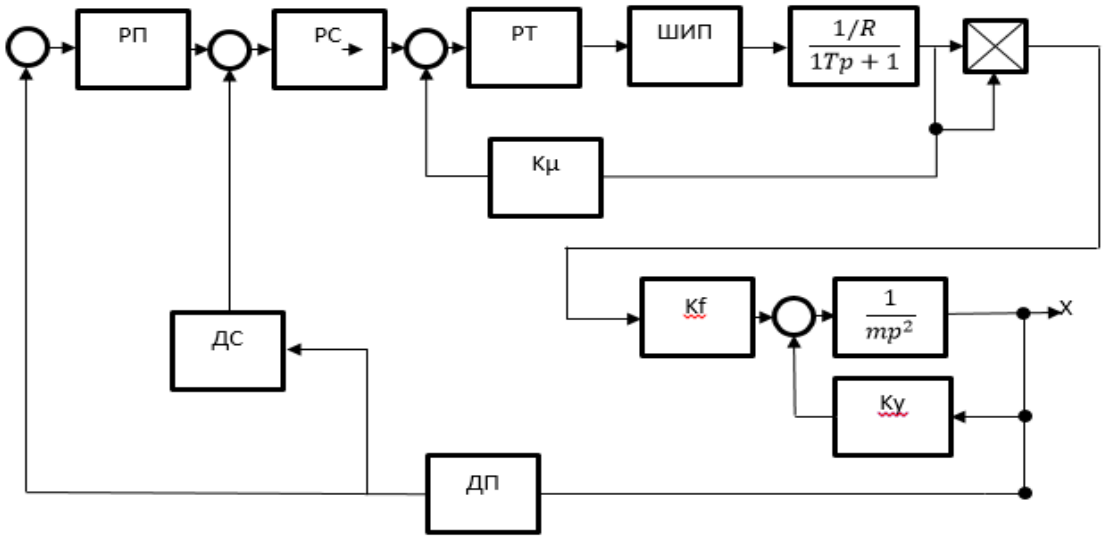


Рис. 1 Структурная схема управления однообмоточным двигателем

На основе структурной схемы предложена математическая модель системы управления виброприводом. Рассмотрены переходные процессы в линейном вибрационном приводе, определены необходимые корректирующие звенья и проанализированы возможные ошибки управления.

Система содержит корректирующие звенья по току, скорости и положению. Физически система управления представляет силовой модуль, в основе которого широкополосный регулятор тока. По результатам моделирования будет предложена система управления, которая будет иметь улучшенные характеристики, такие как улучшенная точность поддержания сигнала, увеличенная частота колебаний рабочего органа, скважность сигнала, больший ток в цепях управления и, таким образом, расширенные функциональные возможности вибропривода.

Схема силового модуля содержит ШИМ-контроллер, драйверы управления ключами, мост силовых ключей, силовой фильтр и датчики обратной связи.

Источники

1. Вибрация в технике: справочник в 6 т. / под ред. Э.Э. Лавендела; ред. совет В.Н. Челомей (пред.). М.: Машиностроение, 1981. Т. 4. 509 с.

2. Машиностроение: энциклопедия / под общ. ред. Л.Б. Масандилова; ред. совет К.В. Фролов (пред.). М.: Машиностроение. Электроприводы, 2012. Т. 4, кн. 2. 520 с.

3. Чернавин В.С., Доманов В.И. Силовой модуль для управления вибрационным приводом с расширенными функциональными возможностями // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2017. № 1. С. 102–103.

УДК 621.317.785

РАЗРАБОТКА СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОСХЕМ

А.И. Шангараев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Shangaraev_ayrat@mail.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук Р.И. Калимуллин

Аннотация. В данной статье поднимается тема разработки электронного счетчика электроэнергии, а также микроконтроллера счетчика электроэнергии, микросхем, которые стоят на микроконтроллере и электронных счетчиках на основе, которых микроконтроллеры служат основой для построения автоматизированных систем контроля учёта электроэнергии.

Ключевые слова: счетчик электроэнергии, микроконтроллер, аналогово-цифровой преобразователь, цифровой дисплей, микросхема, программное обеспечение, контроль состояния питающей сети, ограничение мощности, электроэнергия, контактор, подача напряжения, автоматизированных систем контроля учёта электроэнергии, передача информации, беспроводной способ, интерфейс,

автоматизированные системы контроля учёта электроэнергии, источник питания, импульсный стабилизатор напряжения.

Электронный счетчик электроэнергии представляет собой преобразователь аналогового сигнала в частоту следования импульсов, подсчёт которых дает количество потребляемой энергии.

Главным преимуществом электронных счётчиков по сравнению с индукционными является отсутствие вращающихся элементов. Кроме того, они обеспечивают более широкий интервал входных напряжений, позволяют легко организовать многотарифные системы учёта, имеют режим ретроспективы, т.е. позволяют посмотреть количество потреблённой энергии за определённый период, как правило, помесячно; измеряют потребляемую мощность, легко вписываются в конфигурацию автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии и обладают ещё многими дополнительными сервисными функциями.

Разнообразие этих функций заключается в программном обеспечении микроконтроллера, который является непременным атрибутом современного электронного счётчика электроэнергии. Микроконтроллер является аналого-цифровым преобразователем (преобразует входной сигнал с трансформатора тока в цифровой вид), производит математическую обработку этого сигнала и выдаёт результат на цифровой дисплей. Он также принимает команды от внешних органов управления и управляет интерфейсными выходами.

Если говорить о наиболее распространенных электронных счетчиках, в качестве микроконтроллера может использоваться как микросхема компании Microchip (PIC-контроллер), так и производителей ATMEL или NEC. Соответственно, при разработке электронного счетчика встает задача как выбора конкретного типа микроконтроллера, так и разработка необходимого программного обеспечения с последующей его отладкой.

В настоящее время развитие электронных счётчиков идёт в основном в плане добавления дополнительных сервисных функций. Например, некоторые устройства могут вести контроль состояния питающей сети с передачей этой информации в диспетчерские центры и т.д.

Довольно часто в электросчётчик вводят функцию ограничения мощности. В этом случае при превышении потребляемой мощности электросчётчик отключает потребителя от сети. Для управления подачей напряжения внутрь электросчётчика устанавливают контактор на соответствующий ток. Также отключение возможно, если потребитель превысил отведённый ему лимит электроэнергии или же закончилась предоплата за электроэнергию. Кстати, некоторые электросчётчики

позволяют пополнить денежный баланс прямо через встроенные в них считыватели пластиковых карт. К электросчётчикам данной группы относятся СТК-1-10 и СТК-3-10.

Современные электронные счетчики на основе микроконтроллеров служат основой для построения автоматизированных систем контроля учёта электроэнергии (АСКУЭ). Передача информации может осуществляться беспроводным способом, благодаря повсеместному внедрению сотовой связи.

В настоящее время практически все электронные электросчётчики оборудованы интерфейсом для включения в систему АСКУЭ. Даже те, которые не имеют этой функции, могут оснащаться оптическим портом для локального снятия показаний непосредственно на месте установки электросчётчика путём считывания информации в персональный компьютер.

Функционирование микроконтроллера и других составных элементов счетчика (автоматизированных систем контроля учёта электроэнергии и др.) обеспечивает источник питания, который выполняется на основе специализированной микросхемы преобразователя или импульсного стабилизатора напряжения. Соответственно, в задачу разработчика входит также выбор такой микросхемы и расчет элементов ее «обвязки».

Источники

1. Павлюк М., Коточигов А., Сахно Ю. Микроконтроллеры для счетчиков электроэнергии – современные решения // Электроника: наука, технология, бизнес. 2014. № 4 (135). С. 84–88. http://www.electronics.ru/files/article_pdf/4/article_4219_256.pdf (дата обращения: 27.02.2019).

2. URL: https://habr.com/ru/post/421653/ (дата обращения: 27.02.2019).

3. URL: https://www.kit-e.ru/articles/chip.php (дата обращения: 27.02.2019).

Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

УДК 621.322.4

МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ НАНОЗОЛЯМИ

А.Е. Бунтин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ar4in@yandex.ru
Науч. рук. д-р техн. наук О.С. Сироткин

Аннотация. В работе разработана технология изменения природных алюмосиликатов на основе исследования модифицирующего влияния на их свойства нанодисперсными золями оксидов алюминия и кремния

Ключевые слова: алюмосиликаты, бентонит, нанодисперсные частицы, модификаторы.

Традиционно для изменения технологических параметров, свойств алюмосиликатного сырья и изделий на его основе вводят различные природные и искусственные добавки. С целью улучшения сушильных свойств, снижении времени сушки, воздушной и огневой усадки, исключения коробления сырца и образования усадочных трещин вводят отощающие добавки. К ним относятся кварцевые пески, диатомит, трепел, кварциты, шамот, топливные и металлургические шлаки и др. Для уменьшения массы изделий и улучшения теплофизических свойств применяют порообразующие добавки (древесные опилки, молотый уголь, лузга, торф, известняки, мел). Для придания необходимых формовочных свойств используют пластифицирующие добавки (поверхностно-активные вещества, электролиты). Снижение температуры обжига достигается введением легкоплавких соединений – плавней (оксиды натрия и калия, известняки, доломит, магнезит) [1]. Также применяются комплексные добавки на основе триполифосфата натрия $Na_5P_3O_{10}$ и флороглюцинфурфурольных олигомеров, обеспечивающие заданные реологические и технологические свойства суспензий [2]. Влияние различных добавок основано, прежде всего, на адсорбционных и ионообменных процессах, протекающих на поверхности минеральных частиц алюмосиликатной композиции. При этом некоторые добавки (соли щелочных, щелочноземельных металлов, органические вещества) часто снижают технологические показатели алюмосиликатов и их смесей при термических воздействиях (горячая прочность, термостойкость, термические напряжения и др.) [3].

Современные тенденции и развитие нанотехнологий открывает перспективное направление, связанное с введением нанодисперсных компонентов. Оказывая влияние на исходное вещество внешними воздействиями (введение наномодификаторов и их совмещение с механической и микроволновой активациями), становится возможным влиять на их структурную организацию на различных уровнях (микро-, мезо- и макроуровни) и, как следствие, на свойства полуфабрикатов и конечных продуктов. Исследования в подобном направлении позволили повысить прочность бетона [4] и эпоксидных композитов [5] в 2 раза, а также долговечность и прочность битумных композитов [6] и придать облицовочной керамике стерилизующие и самоочищающиеся свойства [7].

Сырьевая база в России представлена в основном низко- и среднекачественными алюмосиликатами, в особенности щелочно-земельными бентонитами [8], потребность в высоком качестве которых все более возрастает ввиду их широкого применения [9]. В связи с этим актуальной проблемой является создание современных технологий переработки низкокачественного алюмосиликатного сырья с целью получения на их основе продуктов (керамические изделия, керамзит, порошки для буровых растворов, связующие в литейных формах, адсорбенты, катализаторы) с улучшенными свойствами.

Для решения этой задачи исследовано влияние нанодисперсных добавок золей оксидов алюминия и кремния на физико-механические свойства природных алюмосиликатов из Нурлатского бентонита и Новониколаевского суглинка [3, 10].

В качестве модифицирующих веществ использованы гидрозоль оксида алюминия (АЗ-1) – водная дисперсия нанокристаллического бемита AlO(OH) с размером кристаллитов 3,5–4 нм и pH = 9,9, а также золь оксида кремния (КЗ) с размером частиц 8 нм и pH = 4.

Результаты исследований показали наибольшие возрастание набухаемости бентонита при модификации КЗ, текучести и прочности образцов на сжатие при введении АЗ-1. В результате их совместного введения достигаются наилучшие повышение показателей: набухаемость в водных суспензиях увеличивается на 20 %, текучесть суспензий возрастает в ~ 2 раза, прочность образцов на сжатие повышается в ~ 1,5 раза (см. таблицу).

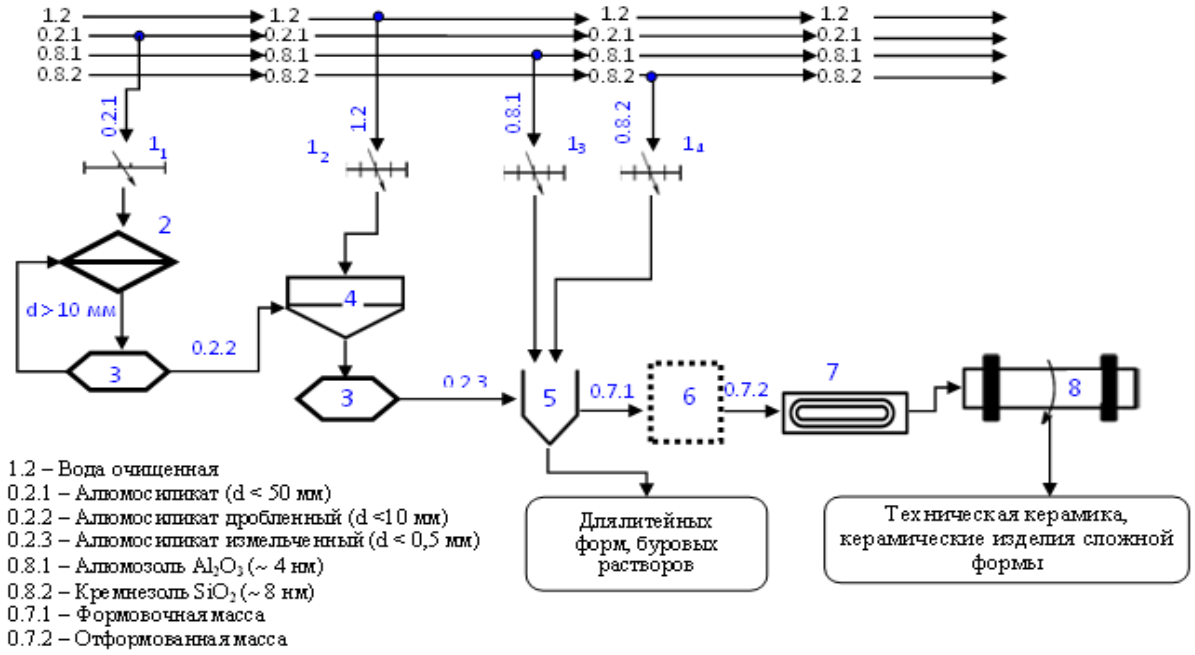
Приращение исследуемых показателей можно объяснять тем, что наноразмерные частицы гидрозолей оксидов алюминия и кремния адсорбируются на поверхности микрочастиц алюмосиликата, формируя структурированные алюмосиликатные комплексы (слои) в виде высокодисперсной фазы, обладающей повышенной удельной

поверхностью, что обеспечивает повышение их активности и возможность участия в образовании новых структур в качестве активных центров.

Физико-механические показатели исходных и наномодифицированных алюмосиликатов (бентонит – Бнт, суглинок – Сгк)

Показатели	Бнт (исх.)	Модификация			Сгк (исх.)	Модификация		
		Бнт + 0,1 % АЗ-1	Бнт + 0,1 % КЗ	Бнт + 0,1% АЗ-1 + 0,1 % КЗ		Сгк + 0,1 % АЗ-1	Сгк + 0,1 % КЗ	Сгк + 0,1 % АЗ-1+ 0,1 % КЗ
Набухаемость, %	20	21	22	24	9	12	11	12
Текучесть водных суспензий, с	18	14	16	8	17	14	15	11
Прочность на сжатие, Н/мм^2	0,23	0,29	0,27	0,34	0,18	0,21	0,20	0,22

Полученные результаты положены в основу следующей технологической схемы, представленной на рисунке.



Принципиальная технологическая схема наномодифицирования природных алюмосиликатов: 1 – дозаторы, 2 – дробилка, 3 – классификатор (сито), 4 – мельница, 5 – мешалка, 6 – форма (гипсовая), 7 – сушилка, 9 – печь обжиговая

Основными стадиями технологии являются: дробление исходного природного алюмосиликатного сырья, классификация, увлажнение, измельчение в шаровой мельнице, просеивание через сито с диаметром отверстий 0,5 мм, последовательное введение нанодисперсных гидрозолей

АЗ-1 и КЗ (соответственно по 0,1 % от массы) и миксинг-процесс в энергонапряженном режиме. Для получения конечного продукта (материала, изделия) предусмотрены технологические операции формования алюмосиликатной массы, сушки и спекания (при температуре 1000 °С в течение 2 ч).

Влажное исходное сырье измельчается в зубчатой валковой дробилке в течение 3 минут (ДВЗ 2М) и классифицируется (при необходимости электромагнитным сепаратором). Полученное очищенное и дробленое сырье поступает в планетарную мельницу мокрого помола (4), увлажняется (при соотношении сырья и воды, равном 1:1,2) и тонко измельчается (в течение 40 мин). Полученная водная суспензия через сито (вибросито типа СВ, 3460 отв/см^2) сливается в емкость с пропеллерной мешалкой (5), куда последовательно вводятся водные растворы нанодисперсных золей АЗ-1 и КЗ с последующим их перемешиванием в течение 50 мин. По окончании модифицирования для получения порошка суспензия подается в башенную распылительную сушилку, в которой в течение 3–5 мин при температуре теплоносителя ~ 400 °С осуществляется сушка продукта. Для получения керамических изделий суспензия формуется в гипсовой форме (сливной способ), сушится при 100 °С до остаточной влажности 5–7 % и обжигается.

Источники

1. Чаус К.В., Чистов Ю.Д., Лабзина Ю.В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1988. 448 с.

2. Здоренко Н.М. Реотехнологические свойства каолинитовых и каолинитгидрослюдистых глинистых масс с комплексной органоминеральной добавкой: автореф. дис. … канд. техн. наук. Белгород, 2009. 16 с.

3. Женжурист И.А., Бунтин А.Е. Влияние добавок гидрозолей оксидов алюминия и кремния на свойства формовочных смесей // Литейное производство. 2011. № 8. С. 36–40.

4. Кузьмина В.П. Создание новых рецептур и технологий для производства бетона // Технологии бетонов. 2017. № 1-2. С. 26–30.

5. Хозин В.Г., Зыкова Е.С. Модифицирование эпоксидных связующих наночастицами для полимеркомпозитной арматуры // Вестник технологического университета. 2013. Т. 16, № 18. С. 178–181.

6. Ярцев В.П., Долженков М.В., Петрова Н.В. Влияние наполнителей и нанодобавок на эксплуатационные свойства композитов на основе битума // Вестник ТГТУ. 2014. Т. 20, № 4. С. 801–809.

7. Кузьмина В.П. Механизмы воздействия нанодобавок на свойства строительной керамики // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 2. С. 70–79.

8. Добрынин И.В. Механоактивационные методы в области производства эффективных бентопорошков для бурения // Нефть. Газ. Новации. 2009. № 10. С. 23–28.

9. Сабитов А.А. Месторождения бентонитов Республики Татарстан: геология и генезис, направления использования сырья // Георесурсы. 2015. Т. 1, № 4 (63). С. 38–43.

10. Технология модификации природных алюмосиликатов нанозолями оксидов алюминия и кремния / А.Е. Бунтин [и др.] // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 2. С. 66–70.

УДК 537.12

НОВЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИКИ НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

С.О. Гарькавый[1], Е.В. Шмидт[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ololoiev77@mail.ru
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук В.Л. Матухин

Аннотация. В представленной работе рассмотрены новые перспективные термоэлектрики на основе магнитных полупроводников, для которых характерна сильная взаимосвязь магнитных и электрических свойств. Приведены результаты изучения методом ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле процессов ядерной спин-решеточной релаксации в полупроводниковом минерале халькопирите $CuFeS_2$.

Ключевые слова: твердотельные термоэлектрические преобразователи, ядерный магнитный резонанс, спин-решеточная релаксация, магнитные полупроводники.

В настоящее время большое внимание отводится разработке и исследованию твердотельных термоэлектрических преобразователей (ТЭП), которые имеют целый ряд преимуществ перед традиционными генераторами и холодильниками. Однако для широкого промышленного применения ТЭП необходимо существенно повысить их эффективность, что прямо связано с увеличением термоэлектрической добротности материалов, определяемой безразмерным коэффициентом $ZT = S^2\sigma T/k$, где S – коэффициент Зеебека, а σ и k – удельные электропроводность и теплопроводность, T – температура. Поскольку указанные физические свойства взаимно связаны между собой, повышение ZT представляет собой непростую задачу.

Недавно в качестве эффективных термоэлектриков, было предложено использовать магнитные полупроводники [1]. Одним из представителей этого класса соединений является хорошо известный полупроводниковый минерал халькопирит $CuFeS_2$. Кристаллическую структуру халькопирита представляют в виде чередующихся металлических слоев, разделенных слоями атомов серы. В каждом металлическом слое при последовательном чередовании атомов меди и железа спины атомов железа расположены параллельно оси *c*, а в соседних слоях – антипараллельно, что приводит к антиферромагнитному упорядочению $CuFeS_2$ с температурой Нееля 823 К. Установлено что, халькопирит имеет сравнительно большой коэффициент Зеебека (500μ*V*/*K*, при температуре 300 К), но не имеет малого значения теплопроводности и большого значения электропроводности, и поэтому величина его термоэлектрической добротности мала. Изменение в результате допирования композиционного соотношения атомов Cu, Fe, S в соединения $CuFeS_2$ позволило увеличить фактор мощности ($S^2\sigma$) при комнатной температуре до величины $\sim 1{,}1\,\mathrm{m}WK^{-2}\mathrm{m}^{-1}$ [2]. Следует отметить, что большинство работ в физике термоэлектрических материалов, выполненных в последние годы, в основном посвящено использованию наноструктур, в которых происходит интенсивное рассеивание фононов, в результате чего уменьшается удельная теплопроводность. При изучении электрических свойств образцов $CuFeS_2$ обнаружено, что они могут иметь как электронный, так и дырочный тип проводимости, а концентрация зарядовых носителей может изменяться в широких пределах. Несмотря на сравнительно длительное и активное исследование халькопирита, многие вопросы, касающиеся его магнитных и электронных свойств, все еще не выяснены. Целью настоящей работы являлось изучение методом ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле ядерной спин-решеточной релаксации в образцах полупроводникового минерала $CuFeS_2$ для получения сведений об особенностях сильной взаимосвязи электронной и спиновой подсистем этого соединения. Ранее метод ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле был использован в основном для исследования ядерных квадрупольных взаимодействий [3–5], однако процессы ядерной спин-решеточной релаксации в $CuFeS_2$ практически не были изучены.

В настоящем сообщении впервые приводятся результаты релаксационных исследований в природных образцах халькопирита из Талнахского и Сибайского месторождений, где они являются главными рудными минералами. Образцы представляли собой поликристаллические

порошки с размером зерен более 0,2 мм. Спектральные и релаксационные параметры ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле в $CuFeS_2$ измерены на многоимпульсном ЯКР/ЯМР спектрометре Tecmag Redstone. Измерения формы линий ЯМР осуществлялись с использованием квадратурного детектирования путем записи сигналов спинового эха с пошаговым прохождением частотного диапазона и накопления сигналов. Время спин-решеточной релаксации (T_1) измерялось стандартной инвертирующей последовательностью РЧ импульсов $\pi - t - \pi/2 - \tau - \pi - \tau$ – эхо на частотах, соответствующей максимуму линий $\nu(CL)$, отвечающих центральному переходу ядер распространенных изотопов меди ^{63}Cu и ^{65}Cu. Интегральная интенсивность сигналов спинового эха в этом случае описывается выражением: $M(t) = M_Z(0)[1–B\exp(–t/T_1)]$. Следует отметить, что в реальной экспериментальной ситуации в твердых телах намагниченность спин-системы после инвертирующего π импульса, как правило, оказывается меньше по модулю, чем $M_Z(0)$ и, поэтому коэффициент B является переменным параметром в программе обработки. Время спин-спиновой релаксации T_2 измерено с использованием импульсной последовательности $\pi/2 - t - \pi - t$ – эхо. Проанализирована интенсивность сигналов спинового эха, пропорциональная ядерной намагниченности M. Затухание сигналов эха описывается функцией $M(t) = M_0\exp(–2t/T_2)$.

Спектр ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле в $CuFeS_2$ согласуется с полученными ранее результатами, его следует отнести к резонансным сигналам от немагнитных ионов меди Cu^+. Спектр имеет для каждого изотопа меди три резонансные линии (ядерный спин обоих изотопов $I = 3/2$) и состоит из центральной линии $\nu(CL)$, соответствующей переходу $I_Z = ½ \leftrightarrow –1/2$, и двух квадрупольных сателлитов $\nu_+(SL)$ и $\nu_-(SL)$, отвечающих переходам $I_Z = 3/2 \leftrightarrow 1/2$ и $I_Z = –1/2 \leftrightarrow –3/2$, соответственно. Резонансные линии хорошо разрешены, и отношение их интегральных интенсивностей соответствует отношению естественной распространенности изотопов меди ^{63}Cu и ^{65}Cu (69 и 31 %, соответственно). В этом случае в присутствии внутреннего магнитного поля полный гамильтониан ядерного спина с квадрупольным моментом можно представить в виде:

$$H = H_m + Hq,$$

где H_m – гамильтониан ядерного магнитного взаимодействия; H_q – гамильтониан ядерного квадрупольного взаимодействия. Если $H_m \gg H_q$,

то в спектре ЯМР для каждого изотопа меди должен регистрироваться триплет, что и наблюдается в экспериментальном спектре.

Как известно, в полупроводниковых соединениях релаксация квадрупольных ядер осуществляется за счет дипольного вклада, обусловленного взаимодействием ядерного магнитного дипольного момента с локальными магнитными полями, и квадрупольного вклада, обусловленного взаимодействием ядерного квадрупольного момента с градиентами электрических полей в месте расположения резонансных ядер. Заметное различие в значениях гиромагнитных отношений $r_M = ({}^{65}\gamma_N/{}^{63}\gamma_N)^2 = 1{,}167$ и квадрупольных моментов $r_Q = ({}^{65}Q/{}^{63}Q)^2 = 0{,}872$ ядер двух распространенных изотопов меди ^{63}Cu и ^{65}Cu позволяет разделить магнитный и электрический квадрупольный вклады в ядерную спин-решеточную релаксацию. Скорость спин-решеточной релаксации оказывается пропорциональной спектральной плотности флуктуаций внутренних полей, вызывающих релаксационные переходы в ядерной спиновой системе, на частоте ЯМР [6].

Кривые восстановления равновесного значения ядерной намагниченности при температуре $T = 300$ К для резонансных линий $\nu_i(CL)$ (i = 63, 65), соответствующих центральным переходам ($I_Z = 1/2 \leftrightarrow -1/2$), носили экспоненциальный характер, и скорость релаксации в исследованных образцах оказалась примерно одинаковой для обоих изотопов, ^{63}Cu и ^{65}Cu. Такой результат позволяет исключить из рассмотрения квадрупольный механизм релаксации и учитывать лишь магнитный механизм релаксации, обусловленный флуктуациями дипольных локальных полей, создаваемых электронными спинами Fe^3.

Для дополнительного подтверждения магнитного характера ядерной релаксации были выполнены измерения спин-решеточной релаксации на сателлитной линии $\nu_+(SL)$ спектра ЯМР ^{63}Cu, соответствующей переходу $I_Z = 3/2 \leftrightarrow 1/2$. В этом случае кривые восстановления равновесного значения ядерной намагниченности при $T = 300$ К также носили экспоненциальный характер, и определенные значения скорости релаксации оказались заметно меньше соответствующих значений релаксационной скорости для центрального перехода $I_Z = ½ \leftrightarrow -1/2$. Полученный результат является дополнительным подтверждением магнитного механизма ядерной спин-решеточной релаксации в $CuFeS_2$.

Источники

1. Tsujii N., Mori T. High Thermoelectric Power Factor in a Carrier-Doped Magnetic Semiconductor $CuFeS_2$ // Appl. Phys. Express. 2013. Vol. 6, № 4.

2. Mori T. Novel Materials and Processes to Develop Viable Thermoelectrics // Journal of Physics: Conf. Series. 2018. Vol. 1052, conf. 1. 4 p.

3. Low-Temperature NMR Study of the Semiconductor Mineral $CuFeS_2$ / V.V. Ogloblichev [et al.] // J. App. Spectr. 2016. Vol. 83, № 5. Pp. 771–775.

4. Исследования полупроводникового минерала $CuFeS_2$ из гидротермальных отложений океанского рифта методом ЯМР Cu в локальном поле / В.Л. Матухин [и др.] // Физика и техника полупроводников. 2017. Т. 51, № 1. С. 8–11.

5. Особенности спектров ЯМР $^{63,65}Cu$ в локальном поле образцов полупроводникового минерала $CuFeS_2$ из сульфидных месторождений океана / В.Л. Матухин [и др.] // Физика и техника полупроводников. 2018. Т. 52, № 8. С. 836–839.

6. Magnetic Resonance and Its Applications / V.I. Chizhik [et al.]. Springer, 2014. 782 p.

УДК 678.7-1

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

С.И. Гафиятуллина[1], И.М. Ибатуллин[2]
[1,2]КНИТУ-КАИ, г. Казань
[1,2]ms.syumbelya@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Ф. Магсумова

Аннотация. В работе исследованы физико-механические характеристики эпоксидных полимеров, наполненных шунгитом, графитом и техническим углеродом различных марок. Показаны зависимости изучаемых величин от природы и концентрации вводимых частиц.

Ключевые слова: эпоксидный олигомер, углеродсодержащий наполнитель, термомеханические свойства, водопоглощение, микротвердость.

Конструкционные композиты на основе эпоксидной матрицы являются широко востребованными во многих отраслях промышленности, что объясняется такими достоинствами используемой эпоксидной смолы как высокая термостойкость, хорошая адгезия к полимерам, отверждаемость при комнатной температуре с малой усадкой, высокая влагостойкость, жесткость и прочность [1–3]. В последнее время наблюдается тенденция совмещения эпоксидных смол с различными дисперсными наполнителями органической и неорганической природы, среди которых особое внимание многих исследователей уделяется углеродсодержащим наполнителям, так как последние согласно анализу

литературы по данной тематике [1, 4] оказывают положительное воздействие на физико-механические свойства композиционных материалов (КМ).

Целью данной работы являлось изучение физико-механических свойств композиционных материалов на основе эпоксидной смолы, наполненной углеродсодержащими частицами.

Для проведения экспериментов были приготовлены смесевые композиции на основе эпоксидно-диановой смолы марки ЭД-22 и аминного отвердителя полиэтиленполиамина (ПЭПА), в которые добавлялись с различной концентрацией микродисперсный шунгит Зажогинского месторождения, технический углерод марок П234, П514, К354, Т900, отличающиеся, главным образом, способом получения и дисперсностью, и кристаллический графит марки ГЛ-1 Завальевского происхождения.

Исследование структуры наполненных составов на наличие агломераций и неравномерности распределения вводимых углеродсодержащих частиц проводили на приборе GX-51 («Olympus»). Термомеханические свойства полимеров, а именно температура стеклования $T_{стек}$ и модуль упругости E, изучали на приборе ДМА Q800 («Netzsch») методом динамического механического анализа. Результаты исследования отражены на рис. 1.

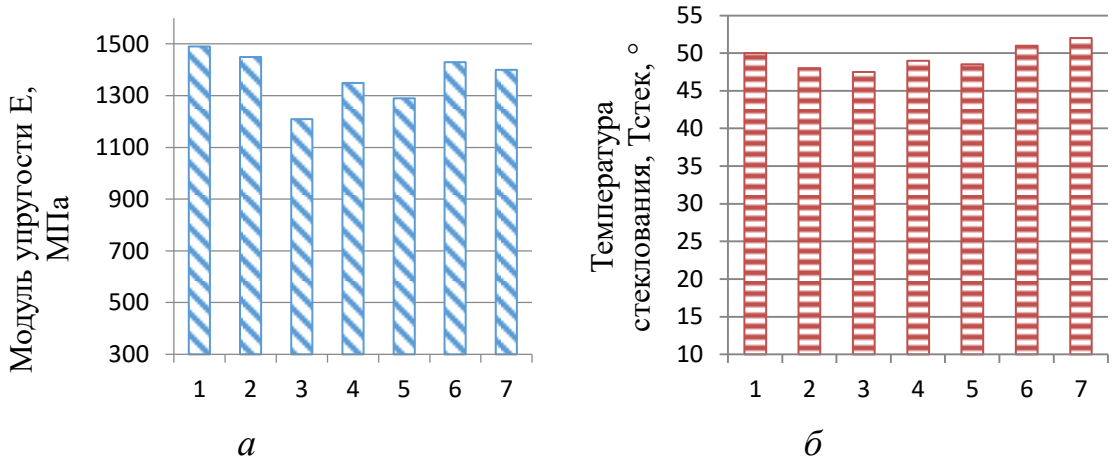


Рис. 1. Термомеханические свойства дисперснонаполненных полимеров: модуль упругости E (а) и температура стеклования $T_{стек}$ (б): 1 – ненаполненный образец; 2, 3, 4, 5, 6, 7 – образцы с содержанием К354, П514, П234, Т900, шунгита и ГЛ-1, соответственно, при их концентрации 5 % масс

Из полученных данных видно, что для всех наполненных эпоксидных полимеров характерно более низкое значение модуля упругости E, чем для ненаполненного образца. Теплостойкость углеродсодержащих полимеров практически стабильна и сопоставима

с аналогичным показателем для ненаполненного полимера, т.е. введение исследуемых частиц не оказывает значительного влияния на $T_{стек}$ образцов.

Водопоглощение исследуемых образцов проводили согласно ГОСТ 4650-80. Полученные результаты приведены на рис. 2. Показано, что наполненные образцы, в которых присутствовал шунгит и кристаллический графит, обладали более низким значением водопоглощения, чем ненаполненный эпоксидный образец.

Микротвердость определяли согласно ГОСТ 56761-2015. Выяснено, что введение микродисперсного шунгита приводит к увеличению изучаемого показателя по сравнению с ненаполненным полимером от 24 до 31 единиц. Применение графита в качестве наполнителя приводит к снижению микротвердости. Это объясняется тем, что частицы используемого графита рассматриваются как пустоты или трещины в эпоксидной матрице.

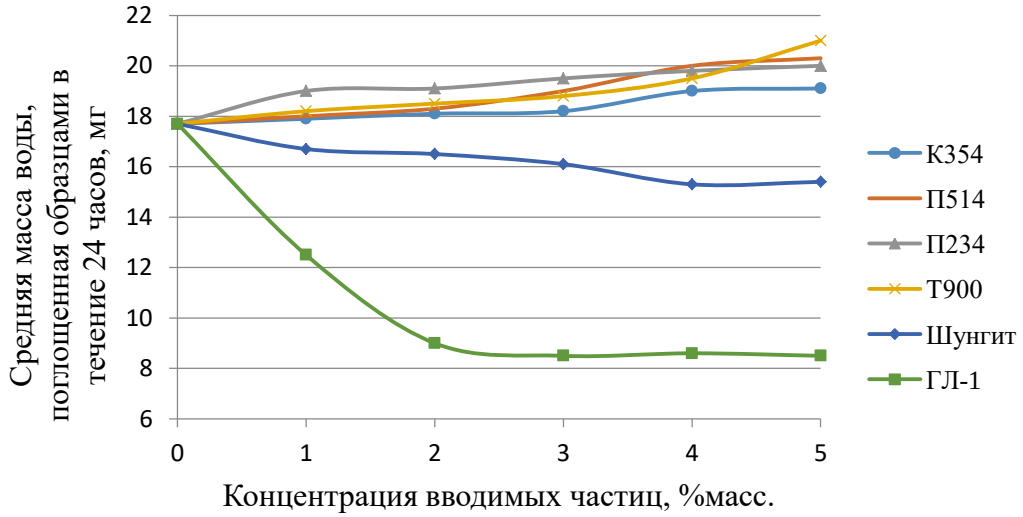


Рис. 2. Зависимость средней массы воды, поглощенной эпоксидными образцами (мг), от концентрации вводимых частиц (% масс.)

Таким образом, на основе проведенных экспериментов изучено влияние углеродсодержащих наполнителей на физико-механические свойства эпоксидных полимеров. Исследования могут быть полезны при получении углеродсодержащих КМ с заданными свойствами.

Источники

1. Сайфутдинова М.В., Лыга Р.И., Михальчук В.М. Композиционные материалы аминного отвержения на основе эпоксидной смолы и

терморасширенного графита // Успехи в химии и химической технологии. 2017. № 11 (192). С. 102–104.

2. Binh M.T., Tizazu M. Hydrophobic esterification of cellulose nanocrystals for epoxy reinforcement // Polymer. 2018. Vol. 155. Pp. 64–74.

3. Effect of hydrophilic graphite flake on thermal conductivity and fracture toughness of basalt fibers/epoxy composites / H.K. Seong [et al.] // Composites Part B: Engineering. 2018. Vol. 153. Pp. 9–16.

4. Woo-Seok K., Kyong Y. R., Soo-Jin P. Influence of surface energetics of graphene oxide on fracture toughness of epoxy nanocomposites // Composites Part B: Engineering. 2017. Vol. 114. Pp. 175–183.

УДК 621.311.22

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Б.А. Гильфанов[1], Л.В. Сироткина[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
b_gilfanov@bk.ru
Науч. рук. канд. хим. наук Л.В. Сироткина

Аннотация. В статье рассмотрены основные современные противокоррозионные методы защиты теплоэнергетических объектов.

Ключевые слова: антикоррозионная защита, лакокрасочные покрытия, металлические покрытия.

В процессе эксплуатации теплоэнергетического оборудования котельных и тепловых сетей возникает коррозия, приводящая к снижению выработки тепловой и электрической энергии и возможной аварийной остановке [1]. Коррозия металлов наносит огромный материальный ущерб, ухудшает экологическую обстановку на производстве.

На теплоэнергетических объектах протекание коррозии усугубляется специфическими условиями эксплуатации оборудования: возможностью упаривания на поверхностях нагрева теплоносителя с выделением твердой фазы и созданием концентратов коррозионных агентов, находящихся в воде, химическим составом водной среды и металла, тепловыми нагрузками и механическими напряжениями металла [2]. Поэтому разработка новых средств противокоррозионной защиты и перспектива их широкого внедрения являются актуальными задачами.

В данной работе представлен обзор по основным способам защиты теплоэнергетического оборудования.

Скорость протекания коррозионных процессов зависит от содержания примесей используемой воды. При минерализации воды более 500 мг/л неизбежна электрохимическая коррозия металлов и сплавов. Присутствие в воде растворенного кислорода повышает скорость коррозии. При концентрации хлорид-ионов более 150 мг/л может возникнуть сквозная коррозия. При содержании в воде солей железа более 0,20 мг/л и марганца более 0,1 мг/л образуются соответствующие отложения, под которыми может начаться подшламовая коррозия [1].

Причиной коррозии является присутствие в воде агрессивных газов. В связи с этим, наибольшее распространение получили такие средства противокоррозионной защиты как деаэрация. Деаэрация воды обеспечивает защиту теплоэнергетического оборудования от коррозии и гарантирует полную выработку своего эксплуатационного срока. Выбор в использовании той или иной деаэрационной установки (вакуумного или атмосферного типа) решается после проведения тщательных технико-экономических расчетов на данном теплоэнергетическом объекте [3].

Традиционным способом защиты от коррозии является нанесение лакокрасочных покрытий. Для них характерны защитные, декоративные, физико-химические и функциональные свойства (влагозащитные, атмосферостойкость, эрозионностойкость и др.), а также адгезия.

Применение лакокрасочных покрытий и полимерных материалов является надежным средством снижения концентрации продуктов коррозии в химически очищенной, обессоленной и питательной воде [2]. Защитные действия лакокрасочных покрытий заключаются в создании на поверхности металла сплошной пленки, которая препятствует агрессивному воздействию окружающей среды и предохраняет металл от разрушения.

Лакокрасочные покрытия дешевы, доступны, легко наносятся на поверхность, а в случае их повреждения легко восстанавливаются. Применение недостаточно прочного покрытия может привести к снижению прочности всей детали. При длительном воздействии влаги и особенно растворов электролитов защитные свойства лакокрасочных покрытий значительно снижаются, а старение лакокрасочных покрытий приводит к возникновению дефектов пленки и к увеличению проницаемости агрессивной среды.

Для получения в промышленных масштабах антикоррозийных лакокрасочных материалов используют эпоксидные, ненасыщенные полиэфирные, полиуретановые, смолы. Покрытия на их основе обладают высокой стойкостью к воздействию воды, окислителей, тепла и света [4, 5].

Обычно в качестве ингибиторов коррозии используются аммиак, циклогексиламин, пленкообразующие амины [2], нитриты, хинолин, пиридин, гидразин, сульфит натрия, гидразин и др.

Аммиак обладает щелочными свойствами, способствует повышению pH воды, тормозит реакцию разряда ионов водорода на катодных участках корродирующего металла [2]. В отличие от аммиака, циклогексиламин мало летуч, поэтому его потери в пароводяном тракте малозначительны.

В работе [6] в качестве ингибитора коррозии используется полимерное покрытие, состоящее из нитрита натрия и циклогексиламина, значимыми свойствами которого являются химическая стойкость полимерной матрицы в коррозионной среде; механическая прочность и адгезия пленки к подложке и их сохранение в процессе хранения [6].

Используемые в практике композиции на основе нитрита натрия [7] небезопасны с экологической точки зрения, не защищают от коррозии медь и латунь.

Использование гидразина в теплоэнергетике объясняется его способностью удалять из воды растворенный или химически несвязанный кислород в котлах и системах отопления. При этом молекула гидразина взаимодействует с находящимся в растворенном состоянии кислородом в соответствии с уравнением [7, 8]:

$$N_2H_4 + O_2 \rightarrow N_2 + 2\ H_2O.$$

Однако скорость реакции гидразина с кислородом при обычной температуре мала, поэтому гидразин используют с добавками (акриламинами, металлоорганическими комплексами и др.), ускоряющими его реакцию при невысоких температурах. Преимущество гидразина перед другими восстановителями, в частности, сульфитом натрия, состоит в том, что побочным продуктом его окисления чаще всего является азот, легко удаляемый из воды и не являющийся коррозионно-активным компонентом. При окислении же сульфита образуются сульфаты, являющиеся агрессивными агентами, и накопление их в воде нежелательно [8].

Для предупреждения коррозии теплообменного оборудования применяют пленкообразующие амины. Ингибиторные свойства пленкообразующих аминов основаны на адсорбции их молекул поверхностью корродирующего вещества, приводящие к образованию мономолекулярного слоя, экранирующего от металла действие угольной кислоты и кислорода [2].

Применение различных методов борьбы с коррозией металла в энергетике дает возможность бесперебойно и качественно осуществлять снабжение электроэнергией, теплом и горячей водой.

Источники

1. Улюкина Е.А. Методы борьбы с коррозией теплоэнергетического оборудования котельных и тепловых сетей в АПК // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2018. № 5 (87). С. 45–50.

2. Чичирова Н.Д., Абасев Ю.В., Залаев Э.М. Коррозия металла теплоэнергетического оборудования. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 164 с.

3. Чупова А.В., Галковский В.А. Деаэрация как способ защиты теплоэнергетического оборудования от коррозии // Науковедение. 2017. Т. 9, № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/deaeratsiya-kak-sposob-zaschity-teploenergeticheskogo-oborudovaniya-ot-korrozii/viewer (дата обращения: 23.10.2019).

4. Эксплуатационная надежность антикоррозионной защиты в промышленно развитом регионе / Т.Г. Черкасова [и др.] // Вестник КузГТУ. 2017. № 2 (120). С. 140–144.

5. Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждения / Н.И. Нефедов [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 393–404.

6. Барабаш Д.Е., Забелин Д.А. Полимерные покрытия с комплексом ингибиторов коррозии для регулируемой защиты изделий различного назначения // Вестник ВГТУ. 2017. № 2. С. 140–146.

7. Паршутин В.В., Ревенко В.Г., Шолтоян Н.С. Ингибирующая композиция для противокоррозионной защиты внутренних поверхностей паровых котлов во время останова // ЭОМ. 2005. № 1. С. 78–82.

8. Коровин Н.В. Общая химия. М.: Высшая школа, 2005. 557 с.

УДК 661.183.2

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Д.Р. Гумеров
КНИТУ, г. Казань
gdr96@yandex.ru
Науч. рук. д-р техн. наук Р.Г. Сафин

Аннотация. В статье показана актуальность и перспективность способа получения активированного угля из отходов деревообрабатывающей промышленности, описана установка, предназначенная для получения активированного угля с минимальными энергозатратами.

Ключевые слова: активированный уголь, активация, установка, древесные отходы.

В настоящее время активированный уголь широко применяется в качестве сорбента для поглощения вредных веществ и примесей, при очистке воздуха, газов, пищевых, фармацевтических, при водоподготовке, в ликероводочном производстве и производстве других продуктов.

Активированный уголь – сорбент с высокоразвитой пористой структурой, состоящий из углерода и обладающей большой способностью сорбировать газообразные, парообразные и растворенные вещества [1].

Между отдельными частицами активированного угля появляются щели и трещины (поры) шириной менее 2 нм. Эти промежуточные поры называют микропорами, а большие полости с диаметром более 50 нм – макропорами. Между микро- и макропорами существуют мезопоры, являющиеся основными транспортными артериями сорбируемого вещества.

Активный уголь относят к группе микрокристаллических разновидностей углерода. Хотя графитовые кристаллиты состоят из плоскостей, протяженностью 2–3 нм, образованных шестичленными кольцами, типичная для графита ориентация отдельных плоскостей решетки относительно друг друга нарушена. Это означает, что в активных углях слои беспорядочно сдвинуты относительно друг друга и не совпадают в направлении, перпендикулярном плоскости слоев. Расстояние между слоями больше, чем у графита (0,3354 нм), и составляет 0,344–0,365 нм. Высота пачки слоев равна 1,0–1,3 нм. Таким образом, графитовые кристаллиты в активном угле содержать 3–4 параллельных углеродных слоя [5].

Величина удельной поверхности различных активных углей составляет 600–2000 $м^2$/г, а общий объем пор – 0,2–1,2 $см^3$/г [6, 7].

Применение активированного угля в промышленности ежегодно растет и может быть распределено следующим образом (%): производство пищевой продукции – 42,6; производство промышленной продукции – 38,0; охрана окружающей среды – 10,0; очистка питьевой воды – 4,7; производство медицинских препаратов, гемо- и энтеросорбентов – 4,7 [8].

На сегодняшний день для производства углей марки БАУ (уголь активированный древесный дробленый, ГОСТ 6217–74) используется древесный уголь марки А, получаемый из твердых лиственных пород деревьев, преимущественно из березы [2]. В России основной объем древесного угля производят из смеси лиственных пород древесины, причем твердые породы (бук, дуб, вяз) в сырье практически отсутствуют [3]. В этой связи существует проблема как с сырьем при производстве древесного угля, который необходим для получения активных углей,

так и с увеличением выпуска древесного и активированного угля [4]. Данная проблема решается путем расширения сырьевой базы и переработки растительного сырья различного вида, утилизацией лесомеханических, а также лесохимических отходов, совершенствованием технологических процессов, разработкой и созданием аппаратуры для реализации.

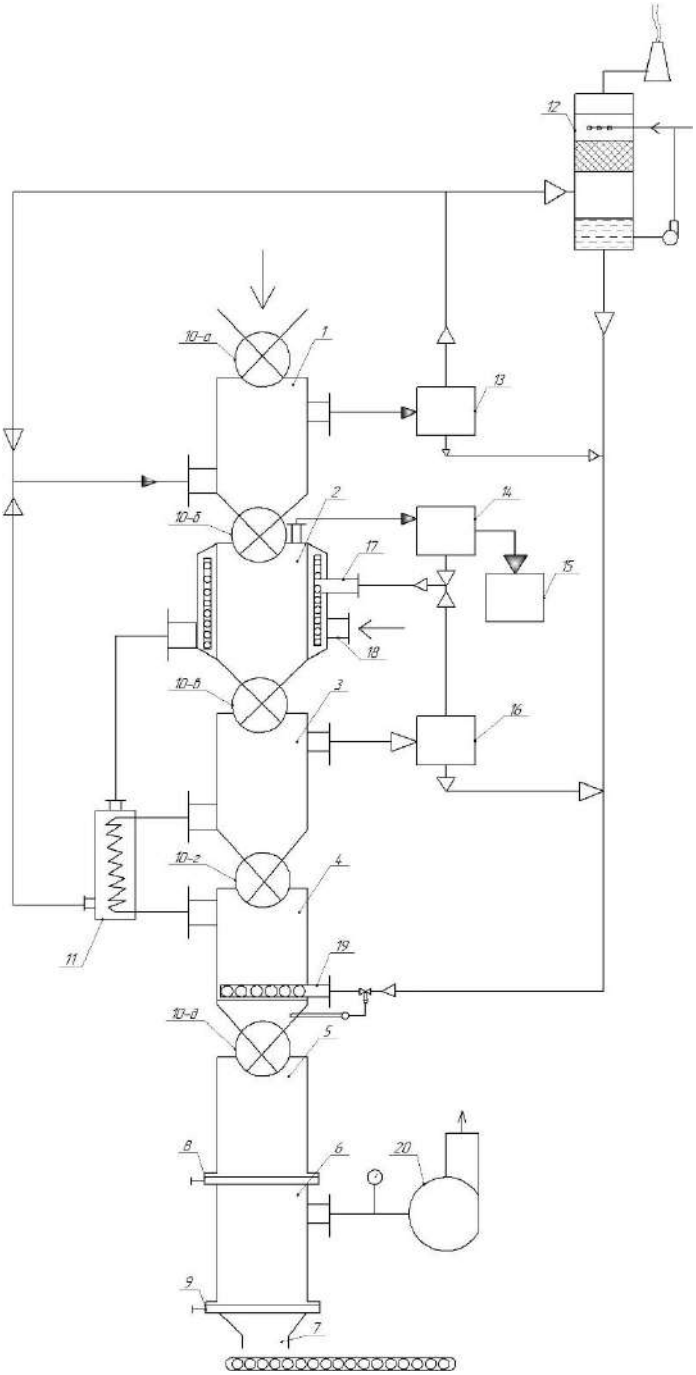
Для получения активированного угля сырье сначала подвергают карбонизации – обжигу при высокой температуре в инертной атмосфере без доступа воздуха. Однако полученный карбонизат обладает плохими адсорбционными свойствами, поскольку размеры его пор невелики, и внутренняя площадь поверхности мала. Поэтому карбонизат подвергают активации для получения специфической структуры пор и улучшения адсорбционных свойств [10].

Активация углей осуществляется посредством обработки водяным паром, реже специальными химическими реагентами (соляной кислотой). Активация водяным паром проводится при температуре 800–1000 °С в строго контролируемых условиях. При этом на поверхности пор происходит химическая реакция между водяным паром и углем, в результате чего образуется развитая структура пор, и увеличивается внутренняя поверхность угля. С помощью такого процесса можно получать угли, обладающих различными адсорбционными свойствами [9].

В рамках разработки эффективной технологии производства активированного угля, обеспечивающей определение требуемых оптимальных режимов процесса при максимальном выходе продукта и минимальных затратах энергетических ресурсов, была создана и запатентована установка, предназначенная для получения активированного угля (см. рисунок).

Предварительно измельченные древесные отходы через барабанный питатель 10-а непрерывно направляют в зону конвективной сушки 1, где отходы подвергают прогреву топочными газами при температуре 250 °С. Высушенные древесные отходы подают в зону пиролиза 2 через барабанный питатель 10-б. Древесные отходы за счет кондуктивного подвода тепла от стенок топки по мере гравитационного движения сверху вниз превращаются в древесный уголь с выделением пиролизных газов. Древесный уголь через барабанный питатель 10-в направляют в зону активации 3, где его обрабатывают водяным перегретым паром с температурой 900 °С с выделением увлажненных горючих газов. Далее активированный уголь через барабанный питатель 10-г направляют в зону первой стадии охлаждения 4, где в нижней части на высоте 15–20 %

от общего объема угля, находится коллектор 19, через который подают воду для охлаждения угля до температуры 90–100 °С.



Установка для получения активированного угля

Верхний объем угля охлаждают образовавшимся водяным паром, который в свою очередь, перегревается до температуры 800 °С. Далее увлажненный и охлажденный активированный уголь направляют в зону накопления 5. При заполнении угля в зоне накопления 5 открывают вакуумный клапан 8 и содержимое сбрасывают в зону второй стадии охлаждения 6. Затем закрывают вакуумный клапан 8 и включают

вакуумный насос 20. При достижении остаточного давления в зоне второй стадии охлаждения 6 3–6 кПа охлажденный активированный уголь открытием вакуумного клапана 9 перемещают в узел выгрузки активированного угля 7 и передают ленточным конвейером на укупорку. Затем закрывают клапан 9 и открывают клапан 8 для загрузки новой порции активированного угля для его охлаждения. Пиролизные газы из зоны пиролиза 2 направляют в сепаратор 14, где происходит разделение на жижку и горючие газы. Жижку направляют в сборник 15, а горючие газы – в рубашку пиролизной зоны 2 на сжигание. Увлажненные горючие газы, образовавшиеся в зоне активации 3, направляют в сепаратор 16 для выделения из них воды. Обезвоженные горючие газы поступают на сжигание в рубашку пиролизной зоны 2. Отработанные топочные газы из зоны пиролиза 2, пройдя через рекуперативный теплообменник 11, нагревают перегретый водяной пар, выходящий из зоны первой стадии охлаждения 4 до температуры 900 °С, затем топочные газы направляют в зону конвективной сушки 1. Увлажненные топочные газы из зоны конвективной сушки 1 направляют в сепаратор 13 для выделения из них воды. Часть обезвоженных топочных газов поступает путем рециркуляции в зону конвективной сушки 1, а другая часть очищается в абсорбере 12 и выбрасываются в атмосферу. Отработанную воду из абсорбера 12 и сепарированную воду, выделенную из топочных газов и газов активации, через коллектор 19 направляют в зону первой стадии охлаждения 4. Полученный активированный уголь соответствует ГОСТ 6217-74.

Разработанный способ позволяет получать активированный уголь по непрерывной технологии с минимальными энергозатратами.

Источники

1. Колышкин Д.А., Михайлова К.К. Активные угли. Л.: Химия, 1972. 57 с.

2. Хабибуллина А.Р. Пирогенетическая переработка древесных отходов в активированный уголь: автореф. дис. … канд. техн. наук. Казань, 2018. 16 с.

3. Юрьев Ю.Л., Ничков Н.А. О сырье для получения активных углей БАУ // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1991. № 8. С. 10.

4. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М., 1984. 512 с.

5. Кугатов П.В. Использование пористых углеродных материалов в качестве носителей для катализаторов // Башкирский химический журнал // Т. 18, № 1. 2011. С. 98–105.

6. Элвин Б. Стайлз. Носители и нанесенные катализаторы. Теория и практика / пер. с англ.; под ред. А.А. Слинкина. М.: Химия, 1991. 240 с.

7. Плаксин Г.В. Пористые углеродные. материалы типа сибунита // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. № 9. С. 609–620.

8. Беляев Е.Ю. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // Химия растительного сырья. 2000. № 2. С. 5–15.

9. Кинле Х., Базер Э. Активные угли и их промышленное применение. Л., 1984. 215 с.

10. Воскобойников И.В., Шевченко А.О., Щелоков В.М. Технология производства активированных углей из древесных отходов // Лесной вестник. 2012. № 8. С. 56–58.

УДК 621.762.2

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.М. Зилеева[1], Р.Р. Назаров[2]
[1,2]КНИТУ-КАИ, г. Казань
dianazileeva@gmail.com
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук А.И. Носков

Аннотация. В работе рассмотрены методы получения металлических порошков. Проведен краткий обзор основных механических и физико-химических методов. По результатам проведенного анализа были сделаны выводы о возможности применения порошковых материалов, изготовленных различными методами, в аддитивном производстве.

Ключевые слова: аддитивные лазерные технологии, металлический порошок, размол твердых материалов, диспергирование расплавов, химическое восстановление

Важным критерием использования порошковых материалов в аддитивном производстве является метод его изготовления. Метод получения определяет физические, химические и технологические свойства получаемого металлического порошка. Металлические порошки одного и того же химического состава могут иметь разные физические характеристики, а также разные технологические свойства.

В настоящее время актуальной задачей является получение металлических порошков для применения в аддитивном производстве. Общее требование к порошкам для аддитивных технологий – сферическая форма частиц и высокая однородность гранулометрического состава. Размеры частиц обычно находятся в пределах от 100 до 20 мкм.

Сферическая форма обеспечивает более компактную укладку частиц в определенный объем и, соответственно, высокую плотность изделия, а также текучесть порошка с минимальным сопротивлением в системах подачи материала. Отсутствие отечественных высококачественных металлических порошков, пригодных к использованию, а также высокая стоимость порошков иностранных производителей являются главными сдерживающими факторами широкого развития аддитивного направления в России.

Методы получения порошков делятся на механические и физико-химические. Механические методы превращают исходный материал в порошок, не оказывая значительных изменений на его химический состав. Чаще всего используют размол твердых материалов в мельницах различных конструкций и диспергирование расплавов. При производстве металлических порошков физико-химическими методами, получаемый порошок отличается от исходного материала по химическому составу и структуре. Наиболее широкое применение в производстве металлических порошков получили механические методы. Процесс измельчения материалов проводят в шаровых, вихревых, молотковых и других мельницах. Данным способом можно изготавливать порошок из любого металла. Чаще всего метод используется для получения металлических порошков из железа, меди, алюминия, стали, марганца, бронзы, хрома, латуни. Методом механического измельчения порошки приобретают наклеп и имеют угловатую, чешуйчатую, округлую формы размером 50–200 мкм (рис. 1).

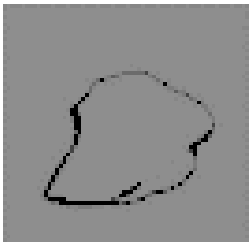
а б в

Рис. 1. Форма частиц металлического порошка: а – округлая, б – угловатая, в – чешуйчатая

Также к механическим методам получения металлических порошков относится способ производства с помощью диспергирования струи расплава. Метод диспергирования обычно классифицируется на основе трех признаков: вид энергии, используемой для создания расплава, вид силового воздействия на расплав при диспергировании, а также среда

реализации процесса плавления и диспергирования. Процесс диспергирования заключается в разрушение и измельчение объема жидкого металла механическим путем, а также газовой или водяной струей. Распыление жидкого металла воздухом или газом используется для получения порошков железа, стали, меди, латуни, бронзы, цинка, свинца, ферросплавов. На размер и форму образующихся частиц влияют мощность и температура газового потока, диаметр струи, температура, поверхностное натяжение и вязкость расплава. Чаще всего полученный порошок имеет каплевидную и осколочную формы частиц размером 50–350 мкм (рис. 2).

а



б

Рис. 2. Форма частиц металлического порошка: а – каплевидная, б – осколочная

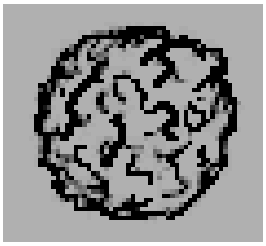


Рис. 3. Губчатая форма частиц металлического порошка

К основным физико-химическим методам получения металлических порошков относится метод химического восстановления. Восстановлением разнообразных соединений могут быть получены практически все металлы. Наибольшее распространение получило восстановление оксидов, галогенидов и других соединений при использовании в качестве восстановителей водорода, углерода или металлов. Восстановленные порошки получают губчатую структуру с мелкими сцепленными в непрочные комочки частицами, которые при прессовании распадаются на отдельные мелкие частицы (рис. 3). Именно из-за губчатой структуры восстановленные порошки имеют хорошую прессуемость. Метод восстановления имеет значительный недостаток для использования в массовом производстве металлических порошков. Большое количество примесей в виде окислов в восстановленных порошках существенно

снижает механическую стойкость железных и стальных изделий. Полученный порошок имеет размер частиц < 100 мкм.

Второе место по промышленному распространению среди физико-химических методов получения металлических порошков занимает электролитический метод. На катоде с помощью электрического тока осаждают из водных растворов солей и расплавов чистые порошки металлов. Получаемые порошки имеют высокую стоимость из-за больших затрат электроэнергии и сравнительно низкой производительности электролизеров. Данным способом получают из водных растворов порошки меди, железа, никеля, серебра, а из расплавленных сред – порошки тантала, титана, циркония, железа. В зависимости от условий электролиза на катоде можно получать твердые хрупкие осадки в виде плотных слоёв, губчатые мягкие осадки и осадки рыхлые. Твёрдые и губчатые осадки для получения порошка измельчают, а рыхлые используют как готовый порошок. Порошки, полученные электролизом, имеют частицы дендритной структуры размером > 100 мкм (рис. 4).

Рис. 4. Дендритная форма частиц металлического порошка

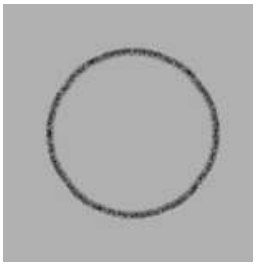


Рис. 5. Сферическая форма частиц металлического порошка

Из рассмотренных выше методов получения металлических порошков наиболее подходящими для применения в аддитивном производстве являются порошки, изготавливаемыми методом диспергирования расплава и методом индукционного плавления быстровращающегося прута заготовки. Но даже эти методы не обеспечивают требуемых физико-химических свойств порошков для использования их в высокоточном аддитивном производстве. Плазменная

сфероидизация позволяет довести эти порошки до требуемых параметров. В процессе плазменной обработки частицы порошка приобретают сферическую форму, высокую однородность гранулометрического состава, не оказывая значительного влияния на изменение их физико-химических свойств (рис. 5).

Работа выполнена в рамках задания №9.3236.2017/4.6, Федеральной Целевой Программы №14.578.21.0245. и в рамках госконтракта № 14.Z50.31.0023 по 220 постановлению.

Источники

1. Кива Д.С., Бычков С.А., Нечипоренко О.Ю. Порошковая металлургия на рубеже веков: новые аспекты, понятия и определения. Киев: КВЩ, 2014. 190 с.

2. Казармщиков И.Т. Производство металлических конструкционных материалов: учеб. пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 247 с.

3. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А., Порошковая металлургия. 2-е изд. М.: Металлургия, 1980. 496 с.

4. Цукерман С.А. Порошковая металлургия. М.: Академия наук СССР, 1958. 159 с.

5. Классификация методов получения порошков [Электронный ресурс]. URL: https://helpiks.org/9-10962.html (дата обращения: 15.09.2018).

6. Механические методы получения порошков [Электронный ресурс]. URL: https://studopedia.ru/2_9452_mehanicheskie-metodi-polucheniya-poroshkov.html (дата обращения: 15.09.2018).

УДК 678.067:541.6

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ДИСПЕРСНОСТЬ УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

А.Н. Камалов[1], И.М. Ибатуллин[2]
[1,2]КНИТУ-КАИ, г. Казань
[1,2]kamalov_an@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.Ф. Магсумова

Аннотация. В работе исследовано влияние ультразвуковой обработки на дисперсность, размерность, форму углеродного наполнителя, введенного в эпоксидное связующее. Показаны получаемые изменения параметров углеродного наполнителя после ультразвукового воздействия.

Ключевые слова: ультразвук, дисперсность, углеродный наполнитель, эпоксидная смола, микроскоп.

Добавление дисперсных наполнителей позволяет решить множество задач, начиная от экономических (удешевление), заканчивая влиянием на технологические, механические и физические свойства. Однако, несмотря на положительные свойства, приобретаемые в процессе наполнения связующего, особое внимание требуют вопросы, касающиеся дисперсии наполненных композиций. Известно, что ультразвук (УЗ) позволяет улучшить процесс переработки наполненных материалов в изделие [1, 3].

Целью данной работы являлось изучение того, как влияет УЗ обработка на наполнитель, а также достижение равномерного распределения частиц в наполненных композициях путем применения УЗ обработки для последующего их использования в разработке полимерных изделий.

В качестве объектов исследования были выбраны высоковязкая эпоксидная смола DEN-438 и углеродосодержащий наполнитель П514.

Высоковязкая эпоксидная смола марки DEN 438, которая является также термореактивным, пластическим связующим, имеет большую ценность для производителей, так как придает изделию высокую прочность и химическую стойкость при высоких температурах.

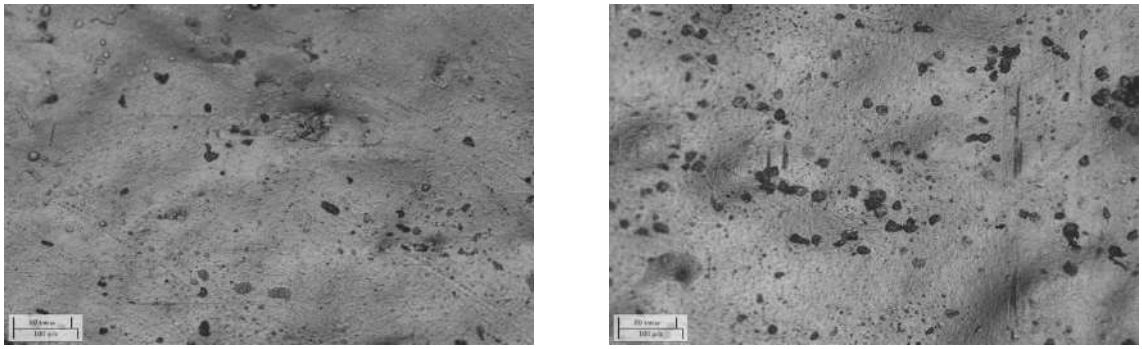
Выбор углеродного наполнителя П514 был обусловлен тем, что в отличие от других наполнителей П514 присущи значительные показатели диэлектрической проницаемости, немагнитные свойства и высокая весовая эффективность, незначительно влияющая на плотность получаемого изделия. Считается, что данный порошок обладает средним показателем дисперсности и структурности, благодаря чему введение этих частиц увеличивает подвижность смеси, что способствует увеличению прочности будущего композиционного изделия уже на начальных этапах его отверждения [2].

Для проведения исследования изготавливались образцы с 1 и 5 % масс. дисперсного наполнителя. Перемешивание дисперсных частиц с эпоксидной смолой проводились путем интенсивного механического смешивания при комнатной температуре с постепенным добавлением отдельных порций порошка до достижения необходимой концентрации.

УЗ обработку образцов проводили на УЗ-гомогенизаторе Sonics Vibra Cell – VCX750 при мощности 750 Вт, частоте 20 кГц и амплитуде 80 мкм, что составляет 35 % от максимальной возможной амплитуды. Образец помещали в специальную емкость, в которую погружали наконечник УЗ-гомогенизатора на глубину 1–2 см. При воздействии ультразвука температура исследуемого образца начинает повышаться, что обусловлено разрушением его структуры. Для исключения влияния

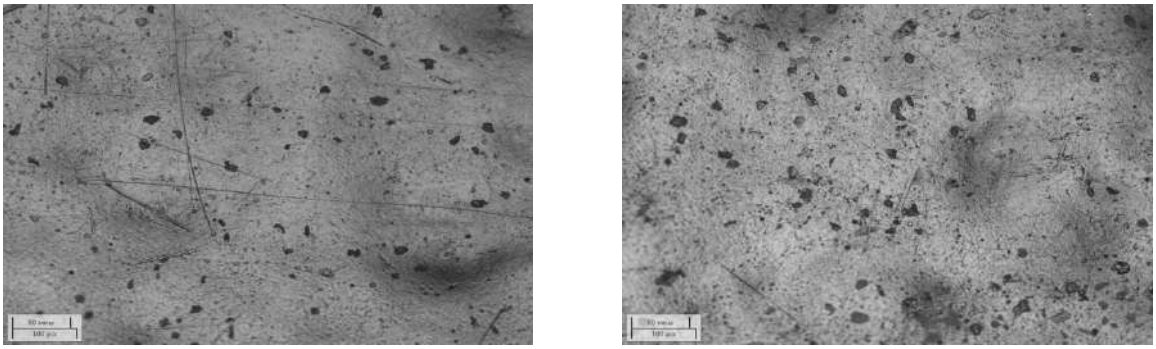
температуры при ультразвуковой обработке применялся термостат с водяной рубашкой, в которую помещали емкость с изучаемым образцом. Термостат работает по принципу циркуляции воды, что не дает нагреваться образцу. Продолжительность УЗ обработки наполненных композиций составила 10 мин.

При изучении каждого образца сравнивались изменение их дисперсности, форм и размеров (рис. 1, 2) с помощью микроскопа Olympus GX51. Подробнее рассмотрим полученные изображения.



а *б*

Рис. 1. Изображения композиций DEN 438+П514 (1 %) (а) и DEN 438+П514 (5 %) (б) без УЗ обработки, полученное с помощью микроскопа



а *б*

Рис. 2. Изображения композиций DEN 438+П514 (1 %) (а) и DEN 438+П514 (5 %) (б) обработанной УЗ в течение 10 минут, полученное с помощью микроскопа

Полученные изображения подвергались анализу, при котором измерялась их размерность и распределение на эпоксидном связующем. Выяснилось, что средний размер соединенных частиц при введении ее в смолу составил 20,5 мкм. Как видно, наполнитель П514 равномерно распределился по связующему. Для сравнения результатов далее были сделаны изображения композиций уже обработанных с помощью УЗ-гомогенизатора на протяжении 10 минут.

Анализируя полученные изображения видно, что после 10 минут УЗ обработки дисперсность наполнителя увеличилась. Для уточнения

полученного результата было определено, что их средний размер составил 13,2 мкм. Средний размер частиц находился путем измерения отдельных частиц наполнителя. Также можно указать, что распределение наполнителя в связующем улучшилась, частицы располагаются более равномерно, чем в необработанной композиции. При этом при сравнении обработанной и не обработанной УЗ образцов можно заметить, что форма самих частиц не изменилась.

Установлено, что воздействие ультразвука на образец в течение 10 минут, приводит к снижению размеров частиц наполнителя на 35,6 %. Форма частиц при этом не изменяется. Также можно сказать, что воздействие УЗ разрушает физические связи между молекулами композиции, вследствие чего улучшается распределение наполнителя, увеличивается дисперсность, что способствует снижению вязкости композиции.

Источники

1. Исследование влияние ультразвука на реологические свойства полимеров различной химической природы для создания нового способа повторной переработки полимерных композиций / И.А. Кирш [и др.] // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. С. 182–186.

2. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А.С. Колосова [и др.] // Фундаментальные исследования. 2017. № 10. С. 459–465.

3. Fromyr T.R., Hansen F.K., Olsen T. The Optimum Dispersion of Carbon Nanotubes for Epoxy Nanocomposites: Evolution of the Particle Size Distribution by Ultrasonic Treatment // Journal of Nanotechnology. 2012. Pp. 1–14.

УДК 539.143.4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В АМОРФНОМ СОСТОЯНИИ В АУРИПИГМЕНТЕ As_2S_3

Д.С. Китанин[1], Е.С. Мухлина[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2]mukhlinaelizaveta@gmail.com
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук А.И. Погорельцев

Аннотация. В настоящей работе проведено сравнение распределения электронной плотности для кристаллической и аморфной фаз в аурипигменте. В кристаллическом состоянии можно предположить наличие заметной обобщенной электронной плотности в межатомных областях, что приводит к образованию цепочек As-S-As-S…. В аморфном состоянии цепочки «рвутся» – обобщенная электронная

плотность наблюдается только для пар As-S. На наш взгляд наблюдаемое различие в распределении электронной плотности для кристаллической и аморфной фаз связано, в первую очередь, с тем, что в аморфной фазе обменно-корреляционные эффекты уже не играют такую определяющую роль как для кристаллической фазы.

Ключевые слова: резонансная спектроскопия, ядерный квадрупольный резонанс, градиент электрического поля (ГЭП), квадрупольные параметры, ab initio расчеты электронной структуры, распределение электронной плотности.

Аурипигмент As_2S_3 относится к классу халькогенидных полупроводников. Аморфная фаза достаточно просто получается искусственно путем сплавления стехиометрических количеств As и S. Образцы естественного происхождения наоборот, как правило, имеют кристаллическую структуру. Аурипигмент находит широкое применение в современных технологиях – при изготовлении солнечных батарей, оптических устройств памяти и т.п.

Основными структурными элементами являются пирамидальные (зонтичные) группы AsS_3, собранные в бесконечные цепочки и сетки, перпендикулярные оси *b*.

Спектр ЯКР ^{75}As, измеренный ранее [1] при температурах 77 и 300 К, состоял из двух резонансных линий, частоты которых равны 70,336, 69,537 и 72,804, 71,942 МГц для температур 77 и 300 К, соответственно. Наличие двух резонансных ЯКР линий у данного соединения хорошо согласуется с данными рентгеноструктурного анализа, устанавливающего два кристаллохимических неэквивалентных положения ядер As (и три неэквивалентных положения ядер S).

Была выполнена серия расчетов в рамках теории функционала плотности (DFT) с использованием различных обменных, корреляционных и гибридных функционалов и найдено хорошее соответствие с экспериментальными данными: кластер AsI $As_{16}S_{25}^{n}$ – T = 300 К, ν_Q = 69,54 МГц, n = 1, базис sto (3), функционал BHHLYP; T = 77 К, ν_Q = 70,3358 МГц, n = 4, базис sto (3), функционал BHHLYP; кластер AsII $As_{19}S_{28}^{n}$ – T = 300 К, ν_Q = 71,95 МГц, n = 0, базис sto (4), функционал B3LYP1,5; T = 77 К, ν_Q = 72,81 МГц, n = 12, базис sto (4), функционал B3LYP1,5. По результатам соответствующих расчетов были построены карты распределения электронной плотности (ЭП) [2], лапласиана ЭП, функции локализации электронов (ELF) [3], локализованного орбитального локатора (LOL) [4, 5]. Выполнен предварительный анализ топологии распределения электронной плотности.

В ряде работ [6] были выполнены ЯКР исследования аморфной фазы аурипигмента. Здесь в отличии от кристаллического состояния

наблюдается одна широкая линия в диапазоне частот 65–80 МГц с уширением в область высоких частот, и при проведении аппроксимации спектра из работы [6] двумя гауссианами возникают определенные трудности.

По этой причине мы провели аппроксимацию тремя линиями гауссовой формы, и наряду с двумя линиями, соответствующими позициям As1 и As2, появляется линия на частоте 77,8 МГц. Для данного состояния были выполнены *ab initio* оценки градиентов электрического поля (ГЭП) на ядрах мышьяка. Расчеты были проведены в рамках самосогласованного ограниченного метода Хартри-Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF) с использованием различных базисов. Также использовались расчеты в DFT режиме. Расчеты проводились методом МО ЛКАО с опорой на квадрупольные параметры. Расчеты выполнялись для кластера AsII (рис. 1). Было получено хорошее соответствие для положения AsII, с использованием базиса sto (3): n = 16 ν = 77,83 МГц. Следует отметить, что близкую частоту можно получить и для положения AsI – n = 6, базис sto (3) – ν = 77,5 МГц.

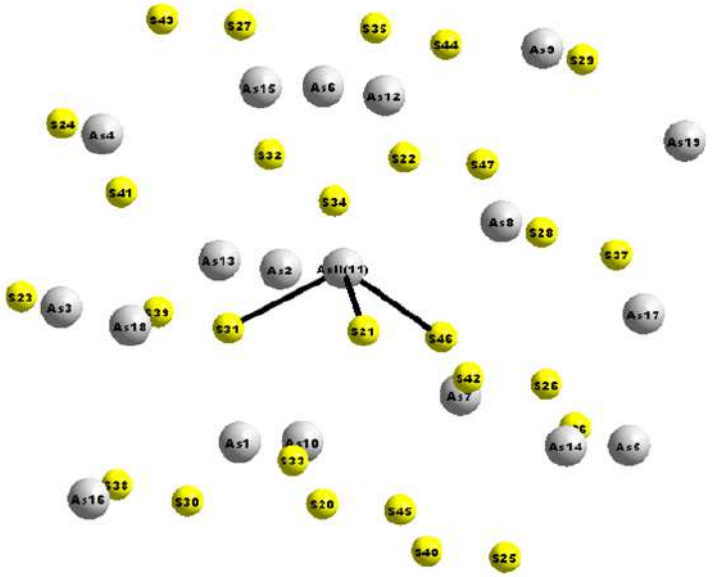


Рис. 1. Кластер $AS_{19}S_{28}^{n}$. Центральный атом AsII

Особенность данного результата в том, что для получения необходимой частоты не требуется введения каких-либо корреляционных или обменных функционалов.

Полученные данные были использованы для построения и первоначального анализа карт распределения электронной плотности. В частности, для AsII $As_{19}S_{28}^{16}$ (T = 300 К) были исследованы плоскости, построенные на атомах (в скобках приведен номер неэквивалентной

позиции): As(I)-S(I)-As(II), S(II)-As(II)-S(I), S(I)-As(II)-S(III), S(II)-As(II)-S(III), As(I)-S(III)-As(II). Было проведено сравнение распределения электронной плотности для кристаллического и аморфного состояний.

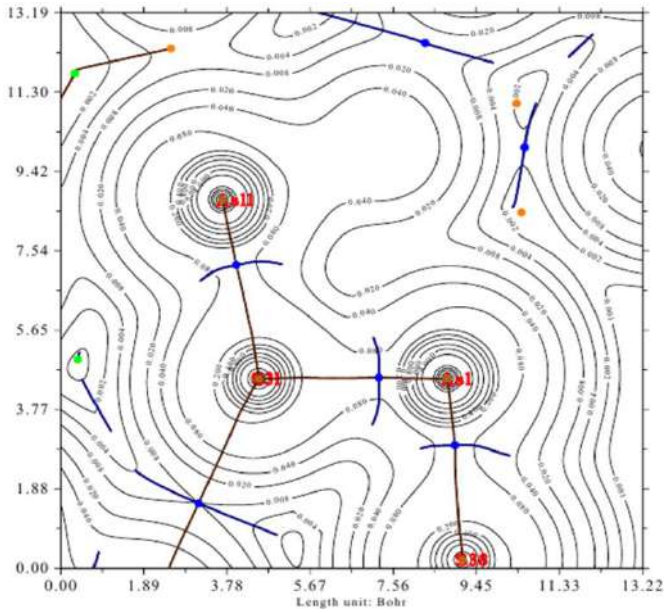


Рис. 2. Карта распределения электронной плотности для плоскости 21-31-11. Кристаллическая фаза

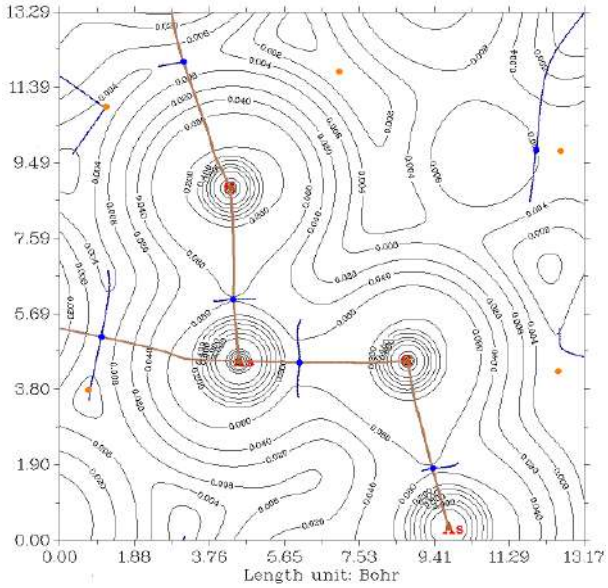


Рис. 3. Карта распределения электронной плотности для плоскости 21-31-11. Аморфная фаза

На рис. 2 приведена карта распределения электронной плотности для кристаллического состояния (плоскость), а на рис. 3. приведена аналогичная карта распределения электронной плотности для аморфного состояния для той же плоскости. На всех контурных картах распределения

электронной плотности маленькие кружки на линиях связи – критические точки (3, –1).

Изолинии на карте распределения электронной плотности строились с переменным шагом: 0,0 0,001 0,002 0,004 0,008 0,02 0,04 0,08 ….–0,001 –0,002 –0,004 –0,008 –0,02 –0,04 –0,08…. (эл./Bohr^3). Линии, пересекающие в точках (3, –1) линии связи, являются поверхностями нулевого потока вектора градиента электронной плоскости и определяют бассейн каждого атома. Как видно из приведенных рисунков, наблюдается существенное отличие в распределении электронной плотности для кристаллического и аморфного состояний. В частности, в кристаллическом состоянии наблюдается общая изолиния на уровне 0,08e/Bohr^3. Таким образом, можно предположить наличие заметной обобщенной электронной плотности в межатомных областях, что приводит к образованию цепочек As-S-As-S… и может свидетельствовать о высокой степени ковалентности связи.

Как видно из рис. 3, в аморфном состоянии цепочки «рвутся» – обобщенная электронная плотность на уровне 0,08e/Bohr^3 наблюдается только для пар As-S.

На наш взгляд наблюдаемое различие в распределении электронной плотности для кристаллической и аморфной фаз связано, в первую очередь, с тем, что в аморфной фазе обменно-корреляционные эффекты уже не играют такую определяющую роль как для кристаллической фазы.

Источники

1. Пеньков И.Н., Сафин И.А. // Физика твердого тела. 1964. Т. 6, № 8. С. 1264.

2. Bader R.F.W. Atoms in Molecules: A Quantum Theory. Oxford: Oxford University Press, 1990. 456 p.

3. Becke A.D. and Edgecombe K.E. A Simple Measure of Electron Localization in Atomic and Molecular Systems // The Journal of Chemical Physics. Vol. 92. Pp. 5397–5403.

4. Schmider H.L. and Becke A.D. Chemical content of the kinetic energy density // Journal of Molecular Structure: THEOCHEM. 2000. Vol. 527, Is. 1–3. Pp. 51–61.

5. Schmider H.L. and Becke A.D. TE Two functions of the density matrix and their relation to The chemical bond AU // J. Chem. Phys. 2002. Vol. 116, № 3. Pp. 3184–3193.

6. P. Craig Taylor. Nuclear Quadrupole Resonance in Amorphous Semiconductors // Z. Naturforsch. 1996. 51a, 603–610.

УДК 544.1

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ И ПРОБЛЕМАХ УЧЕТА МЕТАЛЛИЧНОСТИ ПРИ ОПИСАНИИ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

К.В. Николаев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
mr.nikolaev.2000@mail.ru
Науч. рук. канд. хим. наук Р.О. Сироткин

Аннотация. Сделан краткий обзор истории возникновения, развития и практического использования понятия «металличность химической связи». Приведена трактовка данного понятия через распределение электронной плотности образующих химическую связь обобществленных электронов. Показано значение учета металлической составляющей химической связи для корректного описания химической связи как промежуточной между ее предельными типами, а также оценки влияния химической связи на свойства веществ.

Ключевые слова: металличность связи, ковалентность связи, ионность связи, степень металличности, химическая связь, система химических соединений.

В соответствии с классическими химическими представлениями существуют три предельных типа химической связи: ковалентный, металлический и ионный. При этом большинство веществ проявляют промежуточный тип связи. Например, отмечается, что «межатомное связывание часто характеризуется одной из трех моделей связывания: ионной, ковалентной или металлической. Многие соединения можно разумно отнести к одному из трех типов, хотя является общепризнанным, что большинство гетероатомных связей проявляют смесь этих идеальных типов связи» [1, p. 387].

«Полная систематизация веществ по типу связи очень трудна из-за сложности проблемы... Тем не менее можно, основываясь на тщательно исследованных структурах, описать типы и взаимоотношения связей и, таким образом, объяснить характерные свойства веществ» [2, с. 407]. При этом основная проблема заключается в необходимости создания единой модели, описывающей огромное многообразие индивидуальных химических веществ. Такая модель химической связи должна обобщать другие, более частные модели, включающая то общее, что у них есть, и отбрасывая частное.

При описании химической связи, как промежуточной между предельными видами, часто спорным моментом является само признание металлической компоненты связи, особенно в веществах, не проявляющих металлических свойств. В начале XX столетия П. Друде и Х. Лоренцом

была предложена модель «электронного газа» для металлов. На возможную применимость данной модели к химической связи впервые указал Г. Льюис: «Все известные химические соединения могут быть объединены в один из трех классов: неполярный, полярный и металлический; исключение составляют те случаи, когда одно и то же соединение может быть... отнесено к двум из этих групп» [3, 4]. Таким образом, дополнительно к ковалентному и ионному типам химического взаимодействия Льюис впервые предложил учитывать третий тип – металлический, а также учитывал возможность существования веществ со смешанным типом химической связи.

Позднее на возможность существования соединений с промежуточными типами связи и необходимость учета ее металлической компоненты указывал Л. Полинг: «В каждом ряду веществ, в котором есть переход от чисто ионной к ковалентной связи, имеется также дальнейший переход к металлической связи. Это является лишним доказательством того, что металлическая связь по природе своей подобна ковалентной, но дополнительно обладает свободой движения электронов» [2, с. 406]. Таким образом, Л. Полинг указал как на общую природу ковалентной и металлической связей, так и на качественное отличие последней от ковалентной связи – дополнительная свобода движения электронов.

На необходимость учета металлической компоненты связи, или степени металличности, указывали позднее и другие авторы. Например, У. Харрисон отмечал, что «степень металличности и степень ионности – это два основных понятия, которые характеризуют соединения различных элементов и удобны для всего последующего изложения» [5, т. 1, с. 58]. Б.Ф. Ормонт [6] и А.А. Годовиков [7] предложили ввести понятие степени металличности и количественно охарактеризовали его «величиной атомного номера элемента, среднего или атомного номера соединения» [8, с. 61]. Дж. Даффи [9] применил схожий подход для оценки ковалентности, металличности и ионности химической связи в оксидах на основе сочетания представлений о поляризуемости атомов и их электроотрицательности. Также было предложено для характеристики металличности связи использовать значение энергии ионизации металла оксидов [10]. Э. Музер и У. Пирсон [11] предлагали характеризовать степень металличности связи главным квантовым числом атомов. С.С. Бацанов [12] сначала показал, что металличность химической связи в металлических бинарных соединениях может быть определена, исходя из соотношения межатомных расстояний в структурах чистого металла и бинарного соединения, а также степени обобществления валентных

электронов, равной отличию эффективного заряда атома от 1. Позднее более корректным он посчитал описывать металличность связи не отношением длин металлических связей, а относительным перекрыванием орбиталей атомов металлов на этих расстояниях [13]. В дальнейшем С.С. Бацанов [14] предложил количественную характеристику металличности связи в кристаллических соединениях для расчета молекулярных рефракций галогенидов, оксидов и халькогенидов. Это позволило рассчитать молекулярные рефракции с большей точностью, чем при традиционном ионном подходе. Э. Юрьева и Р. Плетнев [15] при исследовании природы и механизма электронного фазового перехода в гидриде циркония рассчитывали степень ионности связи через эффективные заряды и формальные степени окисления атомов, параметр ковалентности межатомного связывания, а также степень металличности химической связи через специально введенный параметр. Разработанный подход позволил адекватно описать связи металл-водород в гидридах 3*d*-переходных металлов. В работе [16] сообщается, что степень металличности является главным фактором, влияющим на величину порога лазерной повреждаемости пленок, полученных из гафния методом ионно-стимулированной реакции. Также сообщалось [17], что химическая стойкость карбонитридов, оксикарбидов и оксинитридов титана в концентрированных минеральных кислотах определяется степенью металличности связей Ti-Ti и зависит от сорта и соотношения атомов неметалла в соединении, а также от пассивирующей способности образующихся твердофазных продуктов взаимодействия.

Примеры практического интереса различных авторов к описанию различными способами химических связей в терминах ковалентности/металличности/ионности связаны с необходимостью объяснять влияние типа химической связи на конкретные свойства веществ и зачастую с невозможностью это сделать, оперируя только квантово-механическими понятиями.

В рамках единой модели химической связи Сироткиным О.С. и Сироткиным Р.О., используя значения электроотрицательности образующих связь элементов, была разработана методика определения степеней ковалентности, металличности и ионности любых, как гомоядерных, так и гетероядерных, связей [18–21]. На основе рассчитанных компонент связи была предложена Система химических связей и соединений, объединяющая все многообразие их типов [22–23].

Анализ литературных данных [24–29] показал, что ряд зарубежных исследователей предлагают рассчитывать степень ковалентности как

среднее арифметическое электроотрицательностей образующих связь элементов, а степень ионности – через разность электроотрицательностей. Расчет по этим формулам позволяет этим авторам строить треугольники (так называемые диаграммы ван Аркеля-Кетелаара), в которых они выделяют области существования ионных, металлических и ковалентных (молекулярных и сетчатых) структур. Однако при этом все они не оценивают количественно металлическую компоненту связи. При этом в описании учебного плана подготовительных курсов Кембриджского университета отмечается, что «особые подходы», к которым относятся и треугольники ван Аркеля-Кетелаара, позволяют «развивать важное понимание химических процессов и должны помочь рационализировать новые и незнакомые соединения и реакции» [29].

Таким образом, показано, что для корректного описания любой химической связи и оценки ее влияния на структуру и свойства веществ помимо степеней ковалентности и ионности необходим учет ее металлической составляющей. Показана возможность систематизации химических связей и образуемых ими соединений на основе представлений о смешанном характере связи.

Источники

1. Sproul G.D. Electronegativity and Bond Type: Predicting Bond Type // J. of Chemical Education. 2001. Vol. 78. Pp. 386–390.
2. Паулинг Л. Природа химической связи: монография / пер. с англ.; под ред. Я.К. Сыркина. М.: Госхимиздат, 1947. 440 с.
3. Lewis G.N. Valence and Tautomerism // J. of the American Chemical Society. 1913. V. 35, P. 1148–1455.
4. Jensen W.B. The Origin of the Metallic Bond // J. of Chemical Education. 2009. Vol. 86. P. 278–279.
5. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел: Физика химической связи / пер. с англ. М.: Мир, 1983. Т. 1–2.
6. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высшая школа, 1982. 528 с.
7. Годовиков А.А. О связи элементов со структурой и свойствами минералов. М.: Наука, 1989. 118 с.
8. Поляков Е.В. Соотношение периодичности и монотонности в системе химических элементов. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 234 с.
9. Duffy J.A. Chemical Bonding in the Oxides of the Elements: A New Appraisal // J. of Solid State Chemistry. 1986. Vol. 62. Pp. 145–157.

10. Simple and perovskite oxides of transition-metals: Why some are metallic, while most are insulating / J. Torrance [et al.] // J. of Solid State Chemistry. 1991. Vol. 90. Pp. 168–172.

11. Mooser E., Pearson W.B. The Chemical Bond in Semiconductors // J. Electronics. 1956. № 1. Pp. 629–645.

12. Бацанов С.С. О количественной характеристике металличности связи в кристаллах // Журнал структурной химии. 1971. Т. 12, № 5. С. 883–888.

13. Бацанов С.С. // Журнал неорганической химии. 1979. Т. 24. С. 282.

14. Бацанов С.С. Молекулярные рефракции кристаллических неорганических соединений // Журнал неорганической химии. 2004. Т. 49, № 4. С. 617–625.

15. Юрьева Э.И., Плетнев Р.Н. О фазовом переходе в кубическом ZrH_2 // Электронный научный журнал «Исследовано в России». 2005. № 8. С. 1156–1159.

16. High laser-induced damage threshold HfO_2 films prepared by ion-assisted electron beam evaporation / Z. Dawei [et al.] // Appl. Surface Science. 2005. Vol. 243, № 1-4. Pp. 232–237.

17. Жиляев В.А., Штин А.П. Взаимодействие карбонитридов, оксикарбидов и оксинитридов титана с концентрированными минеральными кислотами // Журнал неорганической химии. 2003. Т. 48, № 8. С. 1402–1408.

18. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. Природа химической связи в гомосоединениях и их способность к образованию гомоцепных полимеров // Сб. матер. IV Межресп. науч. конф. студентов вузов СССР по ВМС. Казань, 1991. С. 11.

19. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. О возможности оценки степени ковалентности (металличности) связи в металлоковалентных моно- и полимерных гомосоединениях // Сб. матер. 43 Респ. научн. конф. Казань, 1991. С. 12–13.

20. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. Об оценке степени ковалентности (металличности) связи в металлоковалентных моно- и полимерных соединениях // Строительные материалы и изделия на основе полимеров и неорганических вяжущих: межвуз. сб. Казань, 1992. С. 55–61.

21. Сироткин О.С., Сироткин Р.О., Трубачева А.М. О необходимости и варианте учета металлической компоненты в гетероядерных связях // Журнал неорганической химии. 2005. Т. 50, № 1. С. 71–75.

22. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. Химия: учебник. М.: КНОРУС,

2017. 364 с. (Бакалавриат).

23. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. К вопросу о химическом смысле понятия «Металличность химической связи» // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 24. С. 22–23.

24. Allen L.C. Extension and Completion of The Periodic Table // J. of the American Chemical Society. 1992. Vol. 144. Pp. 1510–1511.

25. Jensen W.B. A Quantitative van Arkel Diagram // J. of the Chemical Society. 1995. Vol. 72. Pp. 395–398.

26. Sproul G.D. Electronegativity and Bond Type 2. Evaluation of Electronegativity Scales // J. of Physical Chemistry. 1994. Vol. 98. Pp. 6699–6703.

27. Sproul G.D. Electronegativity and Bond Type 3. Origins of Bond Types // J. of Physical Chemistry. 1994. Vol. 98. Pp. 13221–13224.

28. Leach M.R. Concerning Electronegativity as a Basic Elemental Property and Why The Periodic Table is Usually Represented In Its Medium Form // Foundations of Chemistry. 2013. Vol. 15, № 1. Pp. 13–29.

29. Cambridge International Examinations. Cambridge Pre-U Certificate (Principal) 9791. Syllabus for examination in 2016, 2017 and 2018. 2013. 54 p.

УДК 54.053

СВЕРХТВЕРДАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

А.Я. Пак[1], О.А. Болотникова[2]
[1,2]ТПУ, г. Томск
[1,2]bolotnikovaoa@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук А.Я. Пак

Аннотация. В работе показа возможность получения сверхтвердой керамики из порошкового продукта на основе карбида кремния, синтезированного в плазме дугового разряда постоянного тока и очищенного от примесей высокотемпературным отжигом.

Ключевые слова: карбид кремния, дуговой разряд, воздух, керамика, искровое плазменное спекание, электродуговой метод.

Карбид кремния или другими словами карборунд – химическое соединение кремния с углеродом. Карбид кремния может иметь разнообразную окраску. Цвет карбида кремния зависит от сырья и технологии получения кристаллов и определяется количеством примеси и степенью отклонения состава от стехиометрического.

Карбид кремния обладает рядом свойств, которые и определяют интерес ученых к данному материалу. Характеризуется особенностями

в физико-механических, физико-химических и электрофизических свойствах [1].

Применяемые на данный момент методы синтеза карбида кремния характеризуются рядом недостатков, таких как высокая длительность процесса и необходимость создания защитной атмосферы. Таким образом, важным является разработка и дальнейшая оптимизация методов получения материалов, содержащих карбид кремния [2].

Прогрессивными сейчас методами являются электродуговые методы синтеза карбида кремния. Одним из таких методов является синтез карбида кремния в плазме дугового разряда постоянного тока, разработанный в Томском политехническом университете.

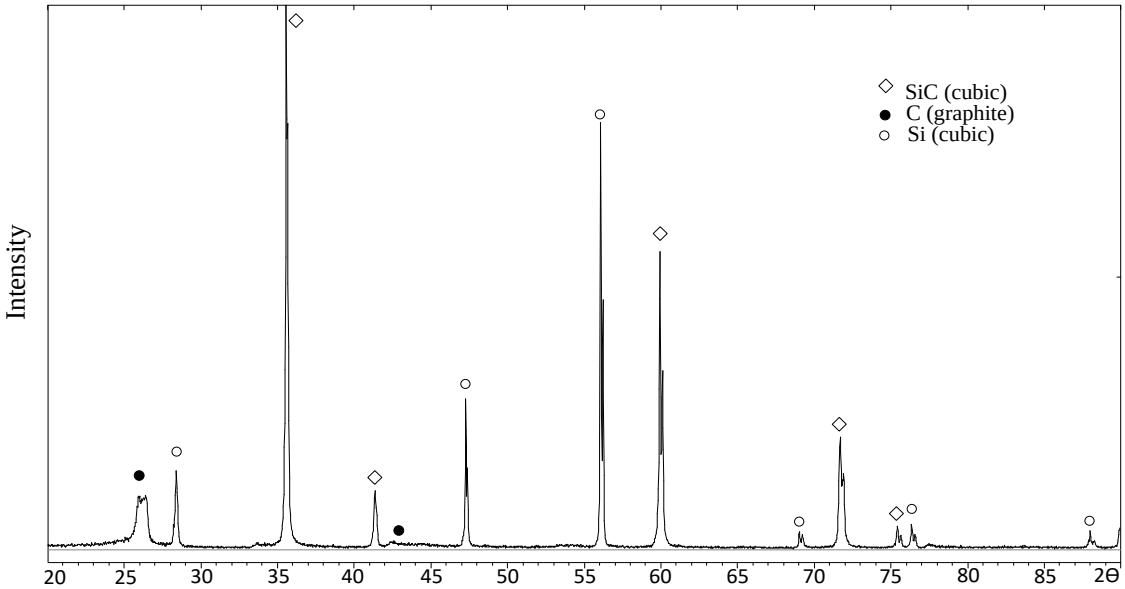


Рис. 1. Типичная картина рентгеновской дифракции продукта, полученного в плазме электрической дуги постоянного тока

Лабораторная установка представляет собой плазмохимический реактор постоянного тока. Источником электропитания служил выпрямительно-инверторный сварочный трансформатор марки Condor Colt 200. Рабочий ток изменялся в диапазоне от двадцати до двухсот ампер, имеется возможность плавного регулирования, источник запитан от электромеханической схемы с магнитным пускателем. К источнику питания посредством силовых линий связи подключались графитовые электроды, которые формируют величину разрядного промежутка. Дуговой разряд инициировался кратковременным соприкосновением электродов.

Перед проведением рабочего цикла системы в зону формирования дугового разряда помещалась смесь углерода и кремния (Si/C) в массовом

соотношении Si:C = 2:1. В результате проведения серии экспериментов обычно получается продукт, состоящий из кубического карбида кремния, графита и кубической фазы кремния [3].

В дальнейшем полученный продукт прошел очистку от примесей путем отжига при температуре 900 °С в муфельной печи ЭКСП-10. В итоге был получен порошковый материал с процентным содержанием карбида кремния около 99 %. На рис. 2 приведены результаты рентгеновской дифракции, которая показывает, что основные дифракционные максимумы принадлежат фазе βSiC, синтезированной в процессе работы электродуговой системы. Мы можем наблюдать пять дифракционных максимумов, которые соответствуют карбиду кремния [3].

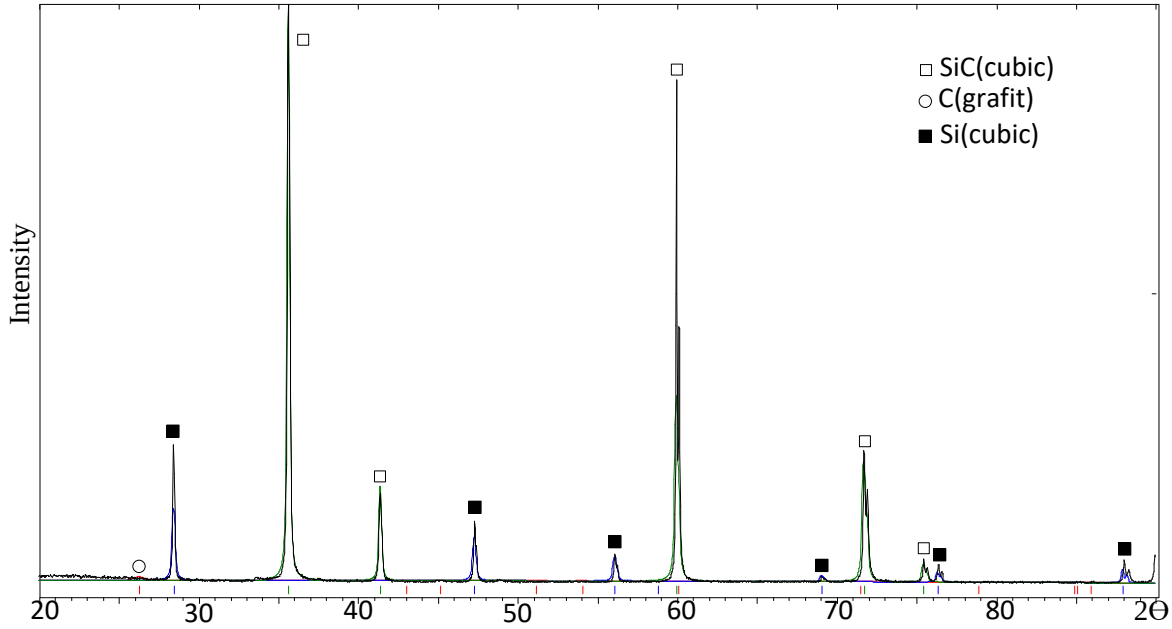


Рис. 2. Картина рентгеновской дифракции после очистки продукта при 900 °С

На данный момент актуальным является применение керамики на основе композиционных материалов. Керамические материалы характеризуются рядом преимуществ над металлическими, таких как высокая износостойкость, коррозионная стойкость, малая плотность, невысокое тепловое расширение, устойчивость к окислительной среде при температурах выше 1200 °С. Керамические материалы на основе SiC являются наиболее перспективными ввиду их устойчивости к высоким температурам (1500–1550 °С) [4].

Нами была произведена попытка спекания керамического образца, состоящего из карбида кремния, который был получен при помощи установки, методика который была описана выше. В качестве метода спекания было выбрано искровое плазменное спекание (Spark Plasma

Sintering, SPS) ввиду быстроты его протекания (порядка 10 мин при температуре 1800 °C).

В результате был получен керамический образец, состоящий из карбида кремния кубической модификации. Твердость получившегося образца была измерена по методу Виккерса и составила до 1858 HV. На рис. 3 изображена растровая электронная микроскопия, которая иллюстрирует наличие пор в спеченном образце.

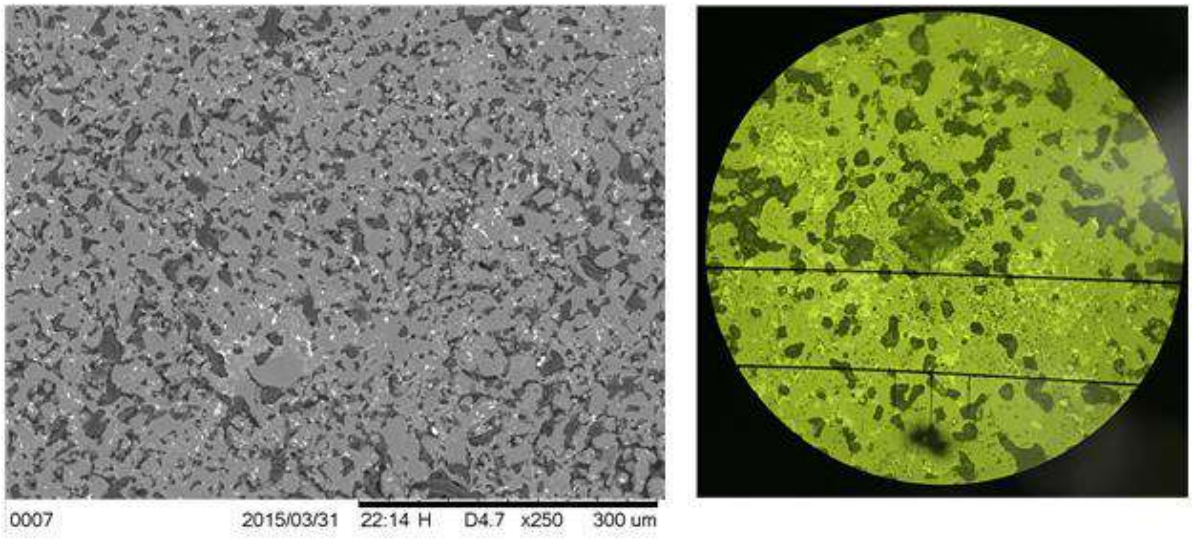


Рис. 3. Растровая электронная микроскопия

Таким образом, можно заключить, что в рамках данной работы экспериментально был реализован полный цикл электроразрядной технологии получения керамического сверхтвердого образца на основе карбида кремния, начиная от синтеза исходного порошка до спекания сверхтвердого керамического образца и анализа его некоторых характеристик. Дальнейшие исследования данного процесса требуют измерений плотности и пористости, а также поиска путей достижения характеристик, приближающихся к монокристаллическим.

Источники

1. Андриевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура,свойства // Успехи химии. 2009. № 78. С. 889–900.

2. Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials / R. Wu [et al.] // Progress in Materials Science. 2015. № 72. Pp. 1–60.

3. Electroarc Synthesis and Cleaning from Carbon Impurities of Cubic Silicon Carbide in the Air Atmosphere / A.Y. Pak [et al.] // J. of Superhard Materials. 2018. № 40. Pp. 157–163.

4. Gotoh J., Tokaji, K. Strength evaluation after environmental exposure and fabrication of trial parts in SiC/SiC ceramic matrix composite for space re-entry vehicles // J. of the Ceramic Society of Japan. 2002. № 110 (1285). Pp. 852–858.

УДК 539.143.4

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В СИСТЕМЕ $La_2Cu_{1-x}Zn_xO_4$

Ю.Д. Плотникова[1], Г.И. Ахметзянова[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2]kozyr_j@list.ru
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук А.И. Погорельцев

Аннотация. В настоящей работе мы провели предварительные исследования распределения электронной плотности в системе $La_2Cu_{1-x}Zn_xO_4$. В качестве «опоры» использовали частоту начала фазового перехода для системы $La_2Cu_{0,9}Zn_{0,1}O_4$, которая составляет 12,7 МГц. Был проведен анализ распределения электронной плотности в рамках теории Р. Бейдера и функции локализации электронов. Показано, что наблюдаются заметные различия в распределении электронной плотности по линиям связи Cu-O и Zn-O, что, в конечном итоге, может привести к наблюдаемому изменению ГЭП на ядрах лантана.

Ключевые слова: резонансная спектроскопия, ядерный квадрупольный резонанс, градиент электрического поля (ГЭП), квадрупольные параметры, ab initio расчеты электронной структуры, распределение электронной плотности, допирование цинком, функция локализации электронов (ELF).

Исследование замещения ионов меди в соединениях на базе купрата лантана La_2CuO_4 на двухвалентные ионы $3d$ металлов выявили ряд особенностей. В частности, было эксперименбтально установлено, что дапирование системы La_2CuO_4 цинком вызывает уменьшение температуры Нееля [1, 2]. Цинк является одним из активных допантов несмотря на то, что его ионы имеют конфигурацию $3d^{10}$, т.е. немагнитны. В соединении La_2CuO_4 атомы Zn замещают парамагнитные ионы меди Cu^{2+}, спины которых связаны сильным антиферромагнитным взаимодействием. На рис. 1 приведены фрагменты спектров ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) ^{139}La для перехода |5/2 – |3/2 в системе $La_2Cu_{1-x}Zn_xO_4$ для различных концентраций Zn. Следует отметить, что влияние Zn на форму

линий спектров ЯКР ^{139}La проявляется, в первую очередь, в определенном уширении спектральных линий.

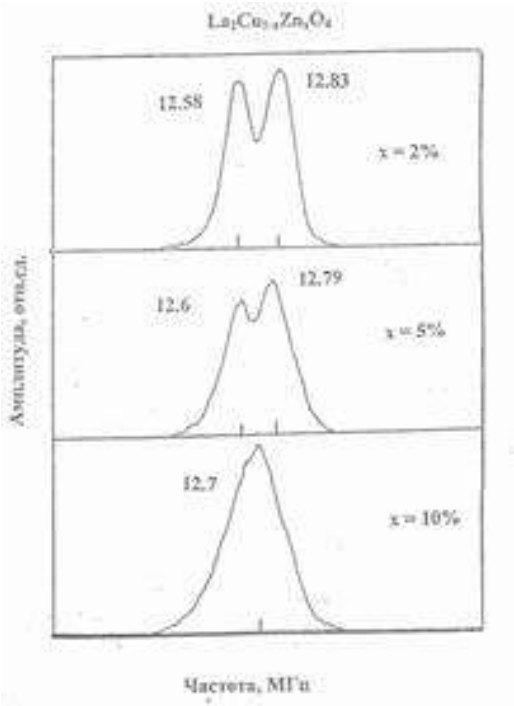


Рис. 1. Спектры ЯКР ^{139}La в системе $La_2Cu_{1-x}Zn_xO_4$. Переход |5/2-|3/2

В настоящей работе мы провели предварительные исследования распределения электронной плотности в системе $La_2Cu_{1-x}Zn_xO_4$. В качестве «опоры» использовали частоту начала фазового перехода для системы $La_2Cu_{0,9}Zn_{0,1}O_4$, которая составляет 12,7 МГц. Учитывая уширение линий, мы ориентировались на частоты 12,5–12,4 МГц, чтобы точно попасть в немагнитную область. Оценки параметров градиента электрического поля (ГЭП) на ядре La проводили кластерным методом, использовался кластер $La_{10}Cu_4ZnO_{25}^{\,n}$ (n – заряд кластера, который необходимо подобрать). Атом Zn замещал атом Cu в медь-кислородной плоскости (рис. 2). Оценки ГЭП на ядрах ^{139}La были выполнены в рамках самосогласованного ограниченного метода Хартри-Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF) (использовалась программа Firefly [3]). Заряд кластера менялся в диапазоне от –10 до 10. Частоты для перехода |5/2 – |3/2 получались решением соответствующего секулярного уравнения.

Наилучшее согласие с экспериментом было получено для n = 6 (ROHF базис MIDI). В этом случае квадрупольная частота ν_Q = 12,487 МГц, а параметр асимметрии η = 0,011. Анализ распределения электронной плотности проводился в рамках теории Р. Бейдера [4]. На рис. 3 в качестве

примера приведена карта распределения электронной плотности (ЭП) для плоскости, проходящей через атомы Zn и Cu перпендикулярно медь-кислородной плоскости. Изолинии на карте распределения электронной плотности строились с переменным шагом: 0,0 0,001 0,002 0,004 0,008 0,02 0,04 0,08 ….–0,001 –0,002 –0,004 –0,008 –0,02 –0,04 –0,08…. (e/Bohr^3). Точками обозначены критические точки (3, –1). Они играют особую роль – собственный вектор гессиана, отвечающий положительной кривизне в данной точке, задает исходные направления двух градиентных траекторий, которые заканчиваются в двух соседних ядрах. Они определяют линию связи: ЭП вдоль этой линии максимальна по отношению к любым малым боковым смещениям.

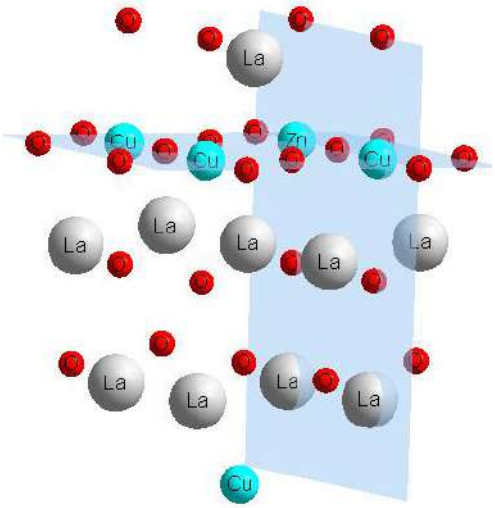


Рис. 2. Кластер $La_{10}Cu_4ZnO_{25}^{n}$

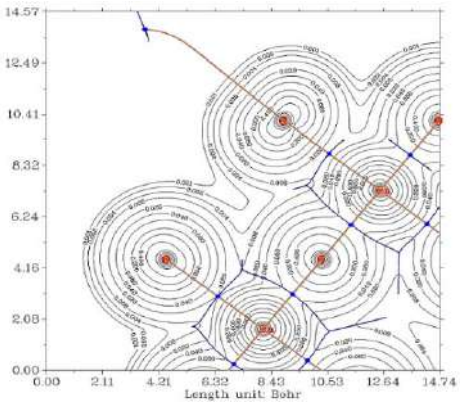


Рис. 3. Карта распределения электронной плотности для плоскости перпендикулярной медь-кислородной плоскости

Существование линии связи является необходимым условием образования связи между атомами в стабильной равновесной системе. Линии, пересекающие в точках (3, –1) – линии связи, являются

поверхностями нулевого потока вектора градиента электронной плоскости и определяют бассейн каждого атома. Как видно из приведенного рис. 3, наблюдаются заметные различия в распределении ЭП по линиям связи Cu-O и Zn-O. В частности, ЭП кислорода «поляризована» перпендикулярно линии связи Cu-O. Для связи Zn-O наоборот, ЭП кислорода вытягивается в направлении атома цинка, и наблюдается тенденция к обобществлению электронной плотности на уровне 0,02e/Bohr^3 для атомов Zn и O.

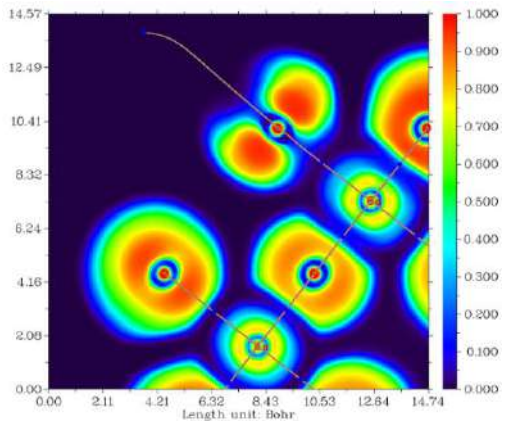


Рис. 4. Карта распределения ELF

Для уточнения полученных данных мы провели исследования топологии распределения электронной плотности для данных плоскостей методами функции локализации электронов (ELF)[5] (рис. 4). ELF широко применяется для определения особенностей электронной структуры различных молекулярных систем и кристаллов. Значения данной функции лежат в диапазоне $0 \le \eta\left(\bar{r}\right) \le 1$: в областях пространства, где $\eta(r) \to 1$, кинетическая энергия электронов уменьшается, и наблюдается локализация электронных пар, тогда как $\eta(r) = 1/2$ соответствует электронной делокализации. В рамках ELF возможно прямое обнаружение неподелённых электронных пар и областей химического связывания. Как видно из приведенного рис. 4, основная концентрация электронов у атома кислорода в связи Cu-O наблюдается в областях перпендикулярных линии связи. Для связи Zn-O характерно увеличение концентрации электронов вдоль линии связи.

Таким образом, можно предположить, что при допировании купрата лантена атомами Zn происходит заметное перераспределение электронной плотности за счет оттягивания электронов вдоль линии связи Zn-O, что, в конечном итоге, и приводит к наблюдаемому изменению ГЭП на ядрах лантана.

Источники

1. Temperature dependence of Fe hyperfine field in $RBa_2Cu_3O_z$ / I. Nowik [et al.] // Solid State Communications. 1990. Vol. 74, Is. 9. Pp. 957–958.

2. Особенности магнитного упорядочения в системе La_2 $(Cu_{1-x}T_x)O_4$ (T = Zn, Ni) по данным ЯКР ^{139}La / А.И. Погорельцев // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 62. Вып. 7. С. 552–556.

3. Granovsky A.A. Firefly version 8.2 [Электронный ресурс]. URL: http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html (дата обращения: 21.12.2018).

4. Bader R.F.W. Atoms in Molecules – A Quantum Theory. Oxford: Oxford University Press, 1990. 456 p.

5. Becke A.D. and Edgecombe K.E. A Simple Measure of Electron Localization in Atomic and Molecular Systems // The Journal of Chemical Physics. 1990. Vol. 92. Pp. 5397–5403.

УДК 676.031:54-112

СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕСТЫ С ПОЛУЧЕНИЕМ БЕТУЛИНА

Д.М. Сайфутдинов
КНИТУ, г. Казань
whatalovelyday@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук Р.Г. Сафин

Аннотация. В статье показана актуальность и перспективность направления химической переработки внешнего слоя коры березы с получением биологически активных веществ, новизна проведенных исследований, личный вклад автора, практическая ценность.

Ключевые слова: береза, бетулин, установка, экстракция.

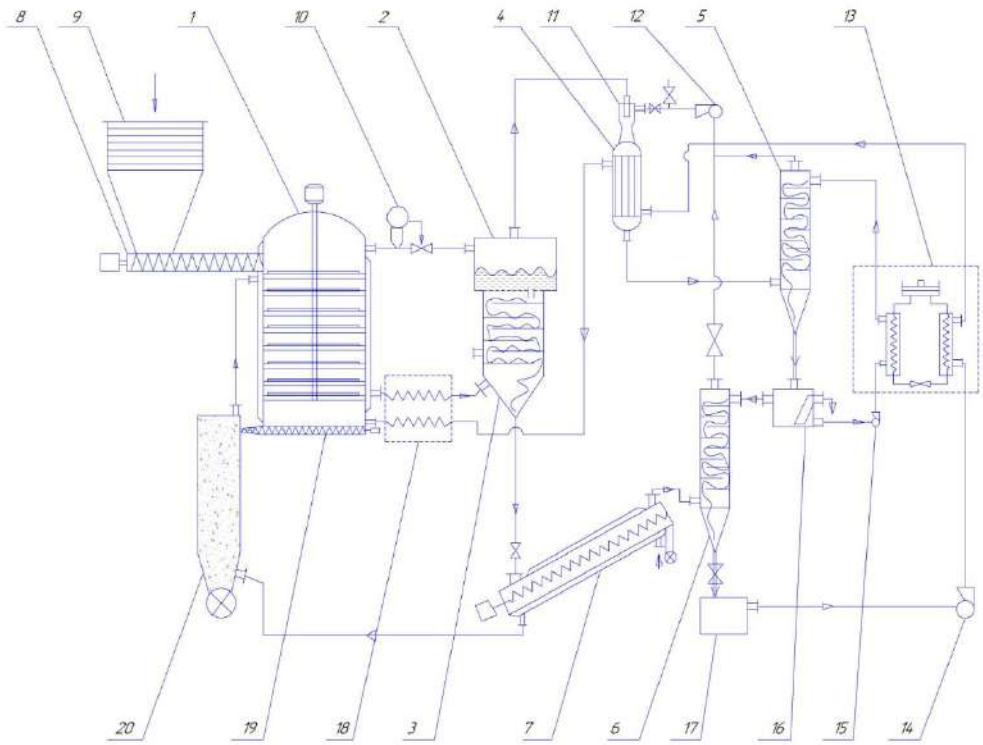
Кора березы разделяется на внешний (береста) и внутренний (луб) слои. Береста – это природный материал, отличающийся белым наружным слоем. В нашей полосе, а также северной части России бересты в избытке, и с ее добычей не возникает проблем. Береза на этой территории является крайне распространенным деревом. Береста состоит из волокон, которые в свою очередь образуют слои. Эти слои формируются каждый год жизни березы, и по ним, соответственно, можно судить о возрасте дерева [1].

Береста имеет необычный состав, она содержит множество экстрактивных веществ, извлекаемых органическими растворителями и щелочами. В связи с этим она представляет большой потенциальный

интерес для химической переработки с целью получения новых продуктов и биологически активных веществ [3]. В промышленности береста используется для получения биологически активных веществ, таких как бетулин, суберин, деготь и многие другие компоненты. Фармакологический спектр действия бетулина очень широк [4]. При лечении кожных заболеваний он оказывает противовоспалительное, антибактериальное и ранозаживляющее действие. Эти свойства бетулина были неоднократно доказаны многочисленными опытами. В самых последних исследованиях были выявлены его антиопухолевые, гепатопротекторные и противовирусные свойства. Доказано, что бетулин заметно останавливает воспалительный процесс путем воздействия на регулирующие медиаторы иммунной системы [5]. Стандартными экспериментами были подтверждены антивоспалительные и антибактериальные свойства. Это вещество также регенерирует поврежденные ткани. Бетулин характеризуется широким спектром антивирусной активности. В настоящее время продолжаются исследования по возможному использованию бетулина в борьбе против ВИЧ инфекции [6]. Особенно актуально применение бетулина для больных гепатитом С. Многие косметические компании добавляют бетулин в свои продукты для ухода за кожей в качестве тонизирующего и регенерирующего средства. Уже больше десяти лет ведутся исследования бетулиновой кислоты для использования ее в препаратах для лечения рака кожи [7]. Бетулин способствует дифференциации клеток кожи, способствует заживлению ран и помогает восстановить защитный кожный слой, гармонизировать и нормализовать нарушенные функции кожи при кожных заболеваниях. Доказанным является факт уничтожения бетулином бактерии Mycobacterium, вызывающей туберкулез. Кроме того, доказано, что бетулин также останавливает размножение грибов в организме. Также успешно бактерициды бетулина убивают возбудителей брюшного тифа, туберкулеза и дифтерии [8].

В Республике Татарстан на данный момент не осуществляется комплексная переработка отходов березы, однако при этом такие предприятия как ЗФЗ, ПФМК активно используют березовую породу в производстве. В процессе лесозаготовки образуется большое количество древесной зелени, а в процессе переработки хлыстов образуются отходы в виде коры [9]. Комплексная переработка березы позволит организовать высокорентабельное производство. Но на данный момент привлекательным и перспективным является получение биологически активных веществ из экстракта чаги и наружного слоя бересты, в особенности бетулина. Именно они представляют собой наибольшую экономическую и технологическую ценность [10].

Начаты исследования в области получения биологически активных веществ из березы. Для этих целей создана и запатентована установка, предназначенная для получения бетулина из бересты (см. рисунок).



Установка для переработки бересты с получением бетулина

Предварительно измельченную бересту через загрузочную воронку 9, с помощью верхнего шнекового транспортера 8 подают в экстрактор проточного типа 1. Измельченную кору подают на верхние тарелки экстрактора, а растворитель – толуол, подают снизу. После окончания загрузки систему герметизируют: закрывают загрузочную воронку и включают вакуумный насос 12. Процесс экстракции ведут при температуре кипения толуола с непрерывным противоточным движением растворителя и бересты [11]. Отработанную бересту через нижний шнековый транспортер 19 загружают в десорбер 20, откуда сырье отправляют на дальнейшую переработку. В сливном канале экстрактора для контроля установлен датчик давления 10. При достижении в экстракторе давления 120–130 кПа производят сброс давления до атмосферного и отбор экстракта в выдувной резервуар 2. Растворитель испаряется из выдувного резервуара, так как он был выброшен из экстрактора под действием давления. Пары растворителя выкачивают из выдувного резервуара инжекторным насосом 11 во второй рекуперативный теплообменник 4, где их конденсируют и подают во второй конденсатор

смешения 5, в котором остатки пара окончательно конденсируются при контакте с оборотной охлаждаемой водой. Растворитель попадает во флорентинное устройство 16, где происходит сепарация воды и толуола [12]. Воду из нижней части флорентинного устройства выкачивают жидкостным насосом 15 в компрессорную холодильную установку 13, где ее охлаждают и возвращают во второй конденсатор смешения в качестве оборотной охлаждаемой воды. Оставшийся во флорентинном устройстве растворитель сливают в первый конденсатор смешения 6, в котором происходит контакт холодного толуола и горячих паров вакуумной сушилки 7, вследствие чего реализуется рекуперация тепла, т.е. пар полностью поглощается жидкостью и отдает ей своё тепло. После этого частично нагретый толуол сливают в буферную емкость 17 для скопления. Периодически клапан буферной емкости открывают и толуол возвращают жидкостным насосом 14 в рецикл, последовательно нагревая его в компрессорной холодильной установке, первом и втором рекуперативных теплообменниках 4, 18.

Экстракт из выдувного резервуара попадает в куб-испаритель 3, где происходит его испарение [13]. Насыщенный экстракт из куба-испарителя сливают в вакуумную сушилку, где его кристаллизуют и получают конечный продукт – бетулин. Пары вакуумной сушилки направляют в первый конденсатор смешения для рекуперации тепла. Для более эффективной сушки экстракта вакуумная сушилка снабжена обогревательной рубашкой, наполняющейся горячим паром, который, выполнив свою обогревательную функцию, попадает в десорбер, где он проходит сквозь слой отработанного сырья и захватывает из него оставшийся растворитель. После этого его направляют в обогревательную рубашку экстрактора, также в качестве нагревательного пара. Из обогревательной рубашки экстрактора пар направляют для его нагрева в первый рекуперативный теплообменник и далее в куб-испаритель в качестве дополнительного нагревателя для испарения экстракта.

Заявляемый способ позволяет получать бетулин с чистотой до 99 % и выходом 47 % от массы сухой бересты по технологии непрерывного процесса экстракции с минимальными энергозатратами [14].

Источники

1. Обзор отечественных исследований в области получения биологически активных веществ из биомассы березы / А.В. Сафина [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2018. Вып. 1. С. 56–64.

2. Актуальное состояние отрасли комплексной переработки лиственницы / А.В. Сафина [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. С. 83–91.

3. Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Актуальное состояние отрасли получения биологически активных веществ из биомассы березы // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2018. Ч. 5. С. 111–115.

4. Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Обзор современных работ в отрасли получения бетулина // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. С. 18–21.

5. Сайфутдинов Д.М., Хайрутдинова А.Р., Валеев К.В. Определение основных оптимальных параметров процесса экстракции бетулина из бересты // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. С. 89–91.

6. Заявка на изобретение «Установка для экстракции растительного сырья» / А.В. Сафина [и др.]. 2018 г.

7. Кислицын А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение. М.: Химия, 1994. Т. 1. 266 с.

8. Караманский С.А. Плетеные изделия. М.: Экология, 1992. 172 с.

9. Толстиков Г.А., Флехтер О.Б., Шульц Э.Э. Бетулин и его производные. Химия и биологическая активность // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 2–7.

10. Черняева Г.Н., Долгодворова С.Я., Бондаренко С.М. Экстрактивные вещества берёзы. Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1986. С. 117–122.

11. Древесная зелень: рациональное использование / Е.Ю. Разумов [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 2. С. 8–11.

12. Повышение эффективности экстракции эфирных масел водяным паром / Р.Р. Сафин [и др.] // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 8. С. 151–154.

13. Интенсификация процесса водной экстракции чаги путем периодического понижения давления среды / А.В. Сафина [и др.] // «Деревообрабатывающая промышленность». 2017. № 2. С. 12–15.

14. Шигабиева Ю.А., Богданова С.А., Сысоева М.А. Получение дезодорантов – антиперспирантов с экстрактами чаги // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 18. С. 16–18.

УДК 539.143.4

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КИСЛОРОДНЫХ ВАКАНСИЙ НА ГРАДИЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА La В СИСТЕМЕ La_2CuO_{4-x}

А.С. Фролов[1], В.С. Галиахметов[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
darkmay34@gmail.com
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук А.И. Погорельцев

Аннотация. В настоящей работе поведены предварительные исследования влияния различных (по позициям) вакансий кислорода на частоту ЯКР ^{139}La в системе La_2CuO_{4-x}. Отсутствие атома кислорода моделировалось вакансией без учета искажений решетки. Рассматривались различные возможные позиции кислорода. Наилучшее совпадение с экспериментом было получено для двух случаев: кислородная вакансия в медь-кислородной плоскости и вакансия в межплоскостной области. Характерное расстояние от вакансии до квадрупольного ядра лантана составило 4,617Å. Можно предположить, что перераспределение электронной плотности, вызванное вакансиями, может привести к изменению ГЭП на ядрах лантана и соответствующему изменению частоты ν_Q.

Ключевые слова: резонансная спектроскопия, ядерный квадрупольный резонанс, градиент электрического поля (ГЭП), квадрупольные параметры, ab initio расчеты электронной структуры, распределение электронной плотности.

Стехиометрический купрат лантана La_2CuO_4 является коллинеарным антиферромагнетиком с температурой Нееля T_N ~ 300 К [1]. Соединение La_2CuO_4 изоморфно таким веществам, как K_2NiF_4 и K_2MnF_4, которые хорошо известны как квазидвумерные антиферромагнетики. Отсюда следует предположение, что La_2CuO_4 также должен быть квазидвумерным антиферромагнетиком с резким преобладанием внутриплоскостного (в слоях CuO_2 – медь-кислородная плоскость) обмена над межплоскостным. Проведенные исследования магнетизма в соединениях на базе купрата лантана выявили различные механизмы разрушения АФМ порядка в зависимости от типа примеси: в соединениях, содержащих примеси Sr или Ba, важную роль в подавлении магнетизма играют подвижные зарядовые дефекты – дырки O^{-1}, в соединениях, содержащих примеси в магнитной подсистеме (медь – кислородная подрешетка), на подавление АФМ порядка сильно влияют уже сами неподвижные магнитные дефекты (например, примеси Zn). В то же время необходимо отметить, что температура Нееля оказывается очень чувствительной к концентрации кислорода – изменение концентрационного индекса кислорода x в формуле La_2CuO_{4+x} на 0,03 может привести к изменению в T_N на 300 К [2, 3].

С другой стороны примеси, дефекты, вакансии влияют на градиент электрического поля (ГЭП), создаваемый на квадрупольных ядрах лантана, и при проведении исследований методом ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) ^{139}La эти изменения отражаются на квадрупольной частоте ν_Q.

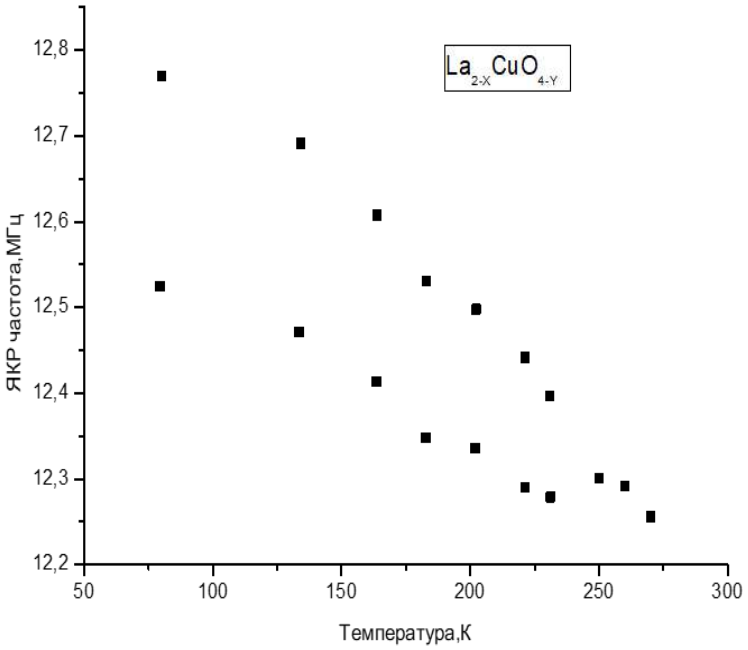


Рис. 1. Температурная эволюция спектра ЯКР ^{139}La в системе $La_{2,07}CuO_{4-x}$, соответствующая переходу |5/2> – |3/2>

Цель настоящей работы состоит в исследовании влияния различных (по позициям) вакансий кислорода на частоту ЯКР ^{139}La. Был синтезирован ряд $La_{2-y}CuO_{4-x}$ (–0,1<y<0,3). У приготовленной системы были выполнены измерения T_N [4]. Значение T_N определялось из температурной зависимости Зееман – расщепления ЯКР ^{139}La линий, соответствующих переходу |5/2> – |3/2>. В качестве примера на рис. 1 приведена температурная эволюция спектра, соответствующая переходу |5/2> – |3/2> для исходного соединения $La_{2,07}CuO_{4-x}$. Как видно из приведенного рисунка, температура Нееля данного образца составляет с учетом изменения ширины линии 250 К (начиная от 240 К).

Мы провели оценки ГЭП на ядрах La с учетом дефицита кислорода. Отсутствие атома кислорода моделировалось вакансией без учета искажений решетки. Рассматривались различные возможные позиции кислорода. Были также проведены аналогичные оценки для дефицита La. Расчеты параметров градиента электрического поля (ГЭП) на ядре La

проводили кластерным методом – исходно использовался кластер $La_{10}Cu_5O_{25}^{n}$, в котором та или иная позиция кислорода (или La) заменялась вакансией (n – заряд кластера, который необходимо подобрать) (рис. 2). В качестве опорной частоты была взята частота чуть меньше 12,3 МГц.

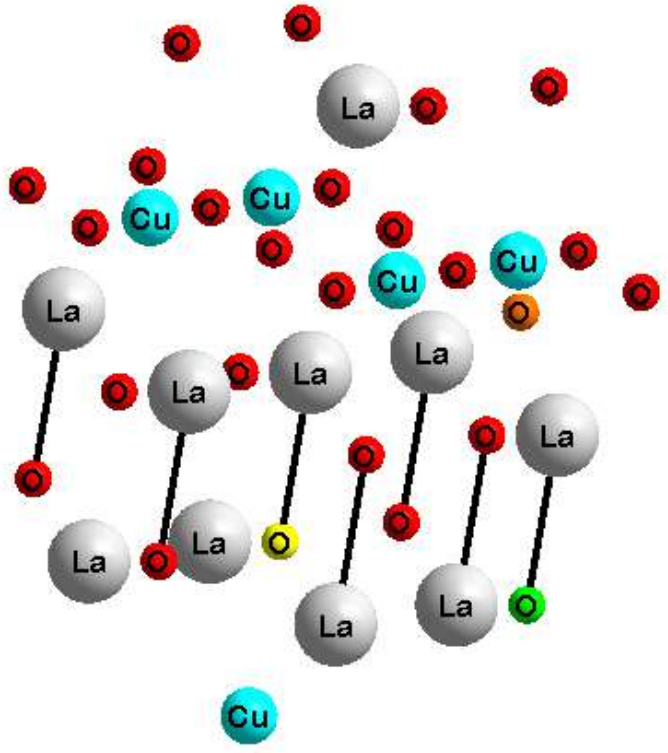


Рис. 2. Кластер $La_{10}Cu_5O_{25}^{n}$

Оценки ГЭП на ядрах ^{139}La были выполнены в рамках самосогласованного ограниченного метода Хартри-Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF) (использовалась программа Firefly [5]). Заряд кластера менялся в диапазоне от –10 до 10. Частоты для перехода |5/2> – |3/2> получались решением соответствующего секулярного уравнения.

Наилучшее совпадение с экспериментом было получено для двух случаев: 1. Кислородная вакансия в медь-кислородной плоскости (на рис. 2 обозначена оранжевым кружком), n = 8, базис midi, ν_Q = 12,296 МГц, параметр асимметрии η = 0,0172. Вакансия в межплоскостной области (на рис. 2 обозначена зеленым кружком) n = 5, базис midi, ν_Q также равна 12,296 МГц, параметр асимметрии η = 0,04. Видно, что все аналогичные по позициям вакансии дадут тот же результат. Для других позиций кислородных вакансий получить удовлетворительный результат не удалось, так же, как и для вакансий La. Характерное расстояние

от вакансии до квадрупольного ядра лантана составило 4,617 Å. Предварительные исследования топологии распределения электронной плотности в области вакансии выявили заметное перераспределение электронной плотности. На рис. 3 изображена карта распределения функции локализованного орбитального локатора (LOL) [6–8] для вакансии в медь-кислородной плоскости. Здесь верхний кислород (слева) отсутствует (вакансия), и связь левого кислорода с левой медью заметно отличается от характера связи правой меди с атомами кислорода – концентрация электронов в межатомной области медь – кислород слева заметно превышает концентрацию электронов в аналогичной межатомной области справа.

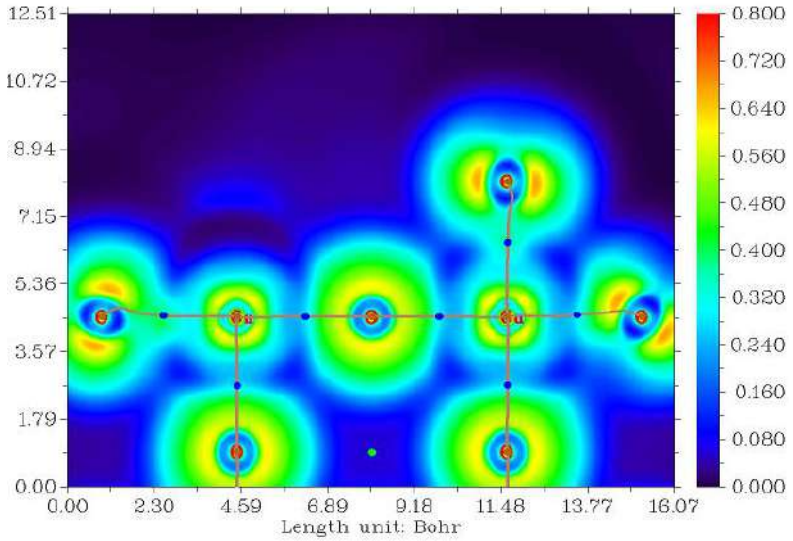


Рис. 3. Карта распределения LOL для вакансии в медь-кислородной плоскости

Таким образом, можно предположить, что перераспределение электронной плотности, вызванное вакансиями, может привести к изменению ГЭП на ядрах лантана и соответствующему изменению частоты ν_Q.

Источники

1. Warren E. Picket // Physical Review B. 1988. Vol. 38. P. 18.

2. Antisymmetric exchange and its influence on the magnetic structure and conductivity of La_2CuO / T. Thio [et al.] // Physical Review B. 1988. Vol. 38, Is. 1. P. 905.

3. Takagi H., Uchida S., Tocura Y. // Physical Review B. 1988. Vol. 38. P. 852.

4. A.I. Pogoreltsev [et al.] // The NQI Newsletter. 1995. Vol. 1. P. 11.

5. Granovsky A.A. Firefly version 8.2 [Электронный ресурс]. URL: http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html (дата обращения: 03.11.2018).

6. Becke A.D. and Edgecombe K.E. A Simple Measure of Electron Localization in Atomic and Molecular Systems // The Journal of Chemical Physics. 1990. Vol. 92. Pp. 5397–5403.

7. Schmider H.L. and Becke A.D. Chemical content of the kinetic energy density // Journal of Molecular Structure: THEOCHEM. 2000. Vol. 527, Is. 1–3. Pp. 51–61.

8. Schmider H.L. and Becke A.D. TE Two functions of the density matrix and their relation to The chemical bond AU // J. Chem. Phys. 2002. Vol. 116, № 3. Pp. 3184–3193.

СОДЕРЖАНИЕ

П Л Е Н А Р Н Ы Е Д О К Л А Д Ы

Гапоненко С.О. Программно-аппаратный комплекс на основе теоретического моделирования и экспериментального исследования зависимости энтропийных виброакустических параметров линейно-протяженных энергетических объектов от их технического состояния. 3
Рыбкина Е.А. Студенты. Проекты. Возможности. 6
Саматова А.М. Трансформационные изменения в экономике и отраслевых рынках труда, определяемые развитием ИТ-технологий. 9

НАПРАВЛЕНИЕ: ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

Анисимов В.А. Анализ корреляционных связей между показателями качества трансформаторного масла. 14
Атрашенко О.С. Особенности внедрения энергоэффективных силовых трансформаторов. 15
Баязитов Р.Р. Анализ системы автоматизированного восстановления распределительных сетей. 20
Белоусова А.С. Исследование методик расчета дозы фликера и эффективных методов уменьшения колебаний напряжения в электрической сети. 22
Богаткин В.Р. Диагностика и автоматизация отыскания мест повреждений кабельно-воздушных линий 10 кВ. 25
Бойко А.Б., Щикунов Н.Н. Перспективные способы плавки гололеда переменным и постоянным током. 28
Гарифуллина А.М. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников нефтехимических предприятий. 32
Девликамова Э.Р. Автоматизация контроля качества электроэнергии. 37
Егорова Н.Г. Повышение энергетической эффективности при передаче электрической энергии в распределительных сетях. 40
Загидуллина Л.Ф. Методы диагностики кабельных линий. 44

Ибатуллин И.И. Моделирование электрической сети для анализа надежности электроснабжения. 49
Иванова Е.В. Рациональность применения цифровых подстанций в Республике Татарстан. 53
Исаков Р.Л. Разработка программы оптимального распределения нагрузки параллельных гидроагрегатов гидроэлектростанций. 56
Исмагилов А.А. Обеспечение бесперебойного электроснабжения систем освещения спортивных объектов международного уровня. . 60
Исмоилов И.И. Расход электроэнергии городских потребителей и их учёт. 62
Ихсанова А.И. Экологические проблемы электромагнитной обстановки ВЛЭП и способы борьбы с ними. 68
Ишбулатова А.И. Исследование витковых замыканий в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ. 70
Камалиева Л.И. Моделирование схем электроснабжения горно-металлургического комплекса. 74
Касимов В.А., Писковацкий Ю.В. Определение типа гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи локационным методом. 78
Крюкова В.А., Лобанова Е.Н. Методы регулирования напряжения в сетях 0,4-10 кВ. 83
Куламов Р.Д., Павленок А.М. Оценка ущерба в системе электроснабжения при нарушении состояния изоляции. 86
Курбанов Р.С. Разработка системы автоматизированного учета электроэнергии у потребителей. 90
Лобанова Е.Н., Крюкова В.А. Контроль состояния устройства регулирования напряжения под нагрузкой. 94
Лыу Куок Кыонг. Мониторинг сетей 0,4 кВ. 98
Мазнева О.В. Сравнение использования цифрового фильтра и корреляционного анализа в задаче классификации сигналов переходного процесса. 102
Мубаракова Г.И. Проблема низкого напряжения в электрических сетях. 105
Паранин Д.С. Уменьшение потерь при передаче электроэнергии. . 108
Пшеченкова Т.П., Шмычков П.С. Магнитная ферритометрия ресурсных характеристик котельного пароперегревателя из стали марки ДИ59. 111
Самофалов Ю.О. Анализ методов исследования износа контактов силовых выключателей. 119

Саптиева В.Ю. Мониторинг показателей качества электрической энергии. 121
Себегатов К.З. Программно-технический комплекс автоматизированной системы энергоэффективного управления эксплуатацией и развитием распределительных сетей. 125
Соловьева И.В. Алгоритм расчета потерь электроэнергии для электрических сетей 6–35 кВ в ремонтном режиме работы. 128
Тухватуллин Л.Т., Степанова Е.Г. Программно-аппаратный комплекс определения мест повреждения в электрических сетях и анализ результатов его работы. 132
Хамидуллин Р.Р. Перспектива развития измерительных трансформаторов тока 110–500 кВ. 136
Шаймарданова Г.А. Разработка моделей надежности схем электроснабжения ответственных потребителей. 141
Шишкин С.М. Влияние качества электроэнергии и моделирование электротехнологических установок для обнаружения отрицательных явлений и факторов. 144
Шишкин С.М. Принципы построения системы управления и контроля качества электроэнергии. 148
Шмыков А.Д. К вопросу об умной сети электроснабжения. 151
Юдина А.А. Предложения по развитию электрических сетей 220 кВ и выше, обеспечивающих выдачу мощности Балаково-Саратовского энергоузла. 156

Секция 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Айметов И.О. Проблема выбора между SVC и СТАТКОМ для промышленных предприятий. 160
Алимова А.Н. Свойства низковольтных распределительных устройств внутрицехового электроснабжения. 163
Алимова А.Н. Взаимосвязь характеристик силовых трансформаторов и их нагрузочной способности. 169
Гадиева Э.А. Разработка систем резервирования с применением накопителей энергии для повышения надежности электроснабжения 176
Гайнутдинов А.Ф. Модернизация оборудования открытых распределительных устройств 35–110 кВ. 179
Галиев Р.Р., Басенко В.Р. Измерительно-диагностический комплекс для бесконтактного контроля технического состояния трансформаторного оборудования. 182

Галимов Р.Ф. Оценка надежности оборудования распределительных сетей 187
Галимов Р.Ф. Повышение эффективности эксплуатации электрооборудования распределительных сетей низкого напряжения. 192
Доан Нгок Ши Исследования по созданию модели системы сбора, контроля и мониторинга данных для систем электроснабжения. . . . 195
Закирова А.Р. Разработка комплекса для бесконтактного контроля технического состояния электрических двигателей. 199
Калайджян А.Х. Анализ умных розеток, перспективы использования на производстве и в быту 204
Кочина Д.С. Разработка имитационной модели интеллектуальной электрической сети с возобновляемыми источниками энергии. 210
Лапшина Ю.С. Комплекс энергоэффективных мер в решении вопросов уличного освещения. 214
Манахов В.А., Алиев Г.Р., Матвеев О.А. Интеллектуальные системы электро-, тепло- и газоснабжения, интеграция различных видов энергоресурсов и средства распределенной энергогенерации. 218
Марусов А.С. Комплекс энергоэффективных мер в решении вопросов уличного освещения 222
Мотренко Р.В. Влияние высших гармоник на установки компенсации реактивной мощности. 226
Musina A.M. Study of the laws and analysis of change in the resistance of the power circuits of the contact systems of low-voltage switching devices. 231
Musina A.M. Comparative study of theoretical and experimental values of the resistance of the contact connections of low-voltage switching devices. 236
Петров Т.И. Сочетание структурно-механических и контрольных инженерных методов анализа и оптимизации линейных моторных машин 241
Саитов И.А. Оптимизация схем электроснабжения промышленных предприятий. 245
Сакина Е.А. Актуальность использования самонесущих изолированных проводов в системах электроснабжения дачных кооперативов. 247
Сакина Е.А. Патентное исследование по вопросам монтажа и арматуры для самонесущих изолированных проводов. 251

Солдусова Е.О., Проничев А.В. Исследование инновационных конструкций силовых трансформаторов для городского электроснабжения 254
Фахрутдинова Р.Р. Перспективы инновационной системы «Умный щит». 258
Хамидуллин Д.М. Методика выбора количества генерирующих установок на основе возобновляемых источников энергии для промышленного предприятия. 261
Хасанова Л.А. Повышение надежности электроснабжения энергоемких предприятий. 267
Хасанова Л.А. Оптимизация электроснабжения энергоемких предприятий путем применения токопроводов. 271
Хисматуллина Э.М., Петров Т.И. Сверхпроводящие кабели. 274
Холикова А.Р., Петров Т.И. Преимущества кинетических накопителей энергии. 277
Швец К.С. Энергосбережение и повышение энергоэффективности в области жилищно-коммунального хозяйства. 280
Шубина С.К. Система удаленного диагностического мониторинга объектов электроэнергетики. 283
Шумский Н.В., Шрамко П.А. Технические решения создания интернета энергии. 287
Яруллин И.И. Построение систем автоматического ввода резерва с применением программируемых логических реле и контроллеров. . . . 297

Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Василец Д.А., Тишков А.А. Модернизация системы управления сетями наружного освещения. 301
Гагулин А.В. Особенности управления лазерных устройств с числовым программным управлением на основе плат Arduino. 308
Галиева Т.Г., Иванов Д.А., Ярославский Д.А. Обзор методов и средств диагностики линий электропередач. 311
Галимов Г.З., Мозес А.Т. Отладочная плата для тестирования режимов работы процессора событий микроконтроллера ATmega128. 314
Гильманов С.Ф. Исследование вольтамперных характеристик трехцветного фотодиода. 317

Гильфанов И.Р. Разработка схем силовой электроники на основе специализированных интегральных микросхем. 321
Зарипова А.Р. Особенности цветопередачи светодиодов белого цвета. 323
Козина Д.Н. Просветляющие покрытия для повышения светоотдачи светодиодов. 328
Липатов Ю.В., Каримов К.Н., Хайбуллин Р.К. Разработка регулируемого блока управления током накачки лазера с приемлемой стабильностью. 335
Липатов Ю.В., Каримов К.Н., Хайбуллин Р.К. Модель оптимизированной сфокусированной антенной решетки с эффективной передачей энергии. 337
Липатов Ю.В., Каримов К.Н., Хайбуллин Р.К. Приемлемые частоты для связи с космическими аппаратами. 340
Муртазина Г.Р. Программируемые логические контроллеры для решения задач автоматизации тепловых пунктов. 344
Нгуен Ван Ву. Разработка аппаратной части для эмуляции форсунок двигателя внутреннего сгорания. 347
Сайфутдинова А.Р. Применение солнечных батарей на объектах морской инфраструктуры. 351
Сулейманова И.И. Методы определения оптических параметров и контроля толщины тонких пленок. 355
Тимофеева Т.А. Использование программного обеспечения Labview для реализации двухканальной системы исследования частичных разрядов в высоковольтной изоляции. 358
Чекалкин Д.Д., Кузнецов К.А., Нигматзянов А.И. Стенд управления схемой освещения в квартире на основе микроконтроллера. 362
Чернавин В.С. Математическое моделирование системы управления виброприводом. 365
Шангараев А.И. Разработка счетчиков электроэнергии на основе специализированных микросхем. 367

Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Бунтин А.Е. Модифицирование алюмосиликатов нанозолями. 370
Гарькавый С.О., Шмидт Е.В. Новые термоэлектрики на основе магнитных полупроводников. 374

Гафиятуллина С.И., Ибатуллин И.М. Физико-механические свойства углеродсодержащих эпоксидных полимеров. 378
Гильфанов Б.А., Сироткина Л.В. Современные методы защиты от коррозии теплоэнергетического оборудования. 381
Гумеров Д.Р. Способ получения активированного угля. 384
Зилеева Д.М., Назаров Р.Р. Методы получения порошковых материалов для аддитивного производства 389
Камалов А.Н., Ибатуллин И.М. Изучение влияния ультразвуковой обработки на дисперсность углеродного наполнителя. 393
Китанин Д.С., Мухлина Е.С. Распределение электронной плотности в аморфном состоянии в аурипигменте As_2S_3. 396
Николаев К.В. К вопросу о необходимости и проблемах учета металличности при описании и систематизации химической связи. . 401
Пак А.Я., Болотникова О.А. Сверхтвердая керамика на основе карбида кремния. 406
Плотникова Ю.Д., Ахметзянова Г.И. Предварительные исследования распределения электронной плотности в системе $La_2Cu_{1-x}Zn_xO_4$. 410
Сайфутдинов Д.М. Способ переработки бересты с получением бетулина. 414
Фролов А.С., Галиахметов В.С. Предварительные исследования влияния кислородных вакансий на градиент электрического поля на la в системе La_2CuO_{4-x}. 419

Научное издание

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

23–26 апреля 2019 г.

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Часть 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э.Ю. Абдуллазянова

Корректор Е.С. Дремичева
Компьютерная верстка и дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшина

Подписано в печать 25.06.2019
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 25. Уч.-изд. л. 20. Тираж 500 экз. Заказ № 5168

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО «КГЭУ»
420066, Казань, Красносельская, 51

Тинчурин Форель Закирович
(12.12.1926–30.09.2002), с 1976 года – проректор Московского энергетического института по Казанскому филиалу, с 1985 по 1994 года – директор Казанского филиала Московского энергетического института (технического университета).
В память талантливого ученого, педагога, видного деятеля науки и образования Республики Татарстан Фореля Закировича Тинчурина в Казанском государственном энергетическом университете с 2006 года проводится Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения».

ISBN 978-5-89873-547-0
9 785898 735470