

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Министерство образования и науки Республики Татарстан
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

III ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
Казань, 17–18 марта 2021 года

Материалы конференции

Казань
2021

УДК 621.3

ББК 31.2

П78

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ» И. В. Ившин

доктор технических наук, профессор филиала ФГБОУ ВО УГНТУ

в г. Салавате Р. Г. Вильданов

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), И. Г. Ахметова, Н. В. Роженцова, В. Р. Иванова

П78 Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. III Всерос. науч.-практ. конф. (Казань, 17–18 марта 2021 г.): / редкол.: Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2021. – 510 с.

ISBN 978-5-98946-359-6

Опубликованы материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

1. Проектирование и эксплуатация объектов электроэнергетики.
2. Энерго- и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.
3. Энергосиловое оборудование, электропривод и автоматизация.
4. Малая энергетика, возобновляемые источники энергии, светотехника.

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

Как правило, сохранена авторская редакция. Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3

ББК 31.2

Секция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.3

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»

¹Аминов Рашид Зуфарович, ²Ларин Евгений Александрович,
³Гариевский Михаил Васильевич
^{1,3}Саратовский научный центр РАН, г. Саратов, Россия
²Саратовский ГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия
oerpran@inbox.ru

В материале представлена обзорная информация о результатах проведения XV Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов»

Ключевые слова: конференция, онлайн-режим, интернет-ресурсы, участники.

XV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE "IMPROVEMENT OF ENERGY SYSTEMS AND HEAT POWER COMPLEXES"

¹Aminov Rashid Zufarovich, ²Larin Evgeny Alexandrovich, ³Garievsky Mikhail Vasilievich

The material provides an overview of the results of the XV International Scientific and Technical Conference "Improvement of energy systems and heat and power complexes"

Keywords: conference, online mode, Internet resources, participants.

В период с 6 по 9 октября 2020 года в ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина была проведена XV Международная научно-техническая конференция «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов».

Научная конференция, организованная кафедрой «Тепловая и атомная энергетика» имени Андрищенко А.И. и Саратовским научным центром РАН, была проведена в рамках празднования 90-летия образования СГТУ имени Ю.А. Гагарина и посвящена памяти выдающегося ученого, основателя школы теплоэнергетики г. Саратова доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки

и техники РФ Андриющенко А.И., возглавлявшего Саратовский политехнический институт в течение 28 лет, и приурочена ко Дню его рождения.

В конференции, проведенной в онлайн режиме с использованием интернет ресурсов СГТУ имени Гагарина Ю.А., приняло участие более 200 научных работников, представителей ведущих российских научных центров и ВУЗов, предприятий и организаций из различных регионов РФ, среди которых: Институт энергетических исследований РАН, Объединенный институт высоких температур РАН, Институт систем энергетики имени Мелентьева Л.А. СО РАН, Всероссийский теплотехнический институт, Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского, Московский энергетический институт, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, ФИЦ Биотехнологии РАН, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Санкт-Петербургский горный университет, ООО Межрегионгаз Технологии (г. Санкт-Петербург), ННГАСУ (г. Нижний Новгород), Самарский ГТУ, Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева и ООО НВФ «Сенсоры» (г. Самара), Новосибирский государственный технический университет, Томский политехнический университет, Ульяновский ГТУ, Казанский государственный энергетический университет, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Омский ГТУ, Воронежский ГТУ, Лаборатория нетрадиционной энергетики ОЭП СНЦ РАН и Астраханский государственный технический университет (г. Астрахань), Филиал ООО «Газпром ПХГ» «Елшанское УПХГ» Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратовский государственный аграрный университет имени Вавилова, БИТИ, Балаковский филиал НИЯУ МИФИ, филиал концерна «Росэнергоатом» «Балаковская АЭС», Саратовский филиал ПАО «Т Плюс».

В работе конференции приняли участие зарубежные участники: SSE Энергетическая компания (Великобритания); Агентство Азербайджанской Республики по альтернативным и возобновляемым источникам энергии; научные организации Беларуси, Израиля, Нидерландов, Сирии, Вьетнама и Эфиопии.

На конференции было представлено 65 докладов на Пленарном заседании и в четырех секциях:

секция 1. Физико-технические и экологические проблемы тепловой и атомной энергетики;

секция 2. Проблемы совершенствования теплоэнергетических комплексов и систем;

секция 3. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в системах производства, транспорта и потребления тепловой и электрической энергии;

секция 4. Возобновляемые источники энергии.

На Пленарном заседании свои доклады представили такие известные ученые в области системных исследований в энергетике, как С.П. Филиппов – директор ИНЭИ РАН, академик РАН, д.т.н., профессор (г. Москва); А.Я. Столяревский – директор НПФ «КОРТЭС», д.т.н. (г. Москва) и др.

В ходе проведения конференции проводились обсуждения научных разработок ученых, преподавателей, студентов, аспирантов научных организаций, высших учебных заведений и промышленных предприятий в области совершенствования энергетических систем и теплоэнергетических комплексов по следующим научно-техническим проблемам:

- совершенствование методологии системных исследований энергетических проблем в современных условиях, разработка и исследование перспективных прорывных технологий и технических решений по повышению эффективности использования топлива в процессах генерации, транспортировки, преобразования и потребления энергии;
- современные пути развития водородной энергетики;
- разработка новых высокоэффективных схем и оптимизация параметров парогазовых и теплофикационных установок различной мощности;
- разработка методологии управления режимами работы энергоблоков ТЭС;
- разработка методов расчета и обеспечения надежности и маневренности паротурбинных и парогазовых энергоблоков в энергосистемах;
- реконструкция и модернизация действующих теплоэлектроцентралей по парогазовому циклу, повышение их мощности, маневренности и экономичности;
- повышение эффективности использования возобновляемых источников энергии, оптимальное комбинирование их с теплоэнергетическими энергоустановками;
- оптимизация развития и использования газотурбинных и газопоршневых энергетических установок в энергетическом комплексе;
- технико-экономическая оптимизация структуры и параметров электротехнологического оборудования, в том числе и на местных видах топлива;
- научные основы совершенствования энергетического комплекса газоперерабатывающих предприятий, повышение надежности и безопасности;
- применение энергосберегающих технологий для эффективного теплоснабжения промышленного предприятия;
- ряд докладов были посвящены актуальной проблеме снижения загрязнения окружающей среды вредными выбросами энергетических предприятий.

Конференция решила:

1. Считать основными направлениями исследований в энергетике – развитие методологии системных исследований в современных условиях с учетом изменяющейся структуры энергетических рынков в ближайшей перспективе;

2. Усилить разработку теоретических основ создания водородной энергетики, энергетики на основе топливных элементов, формирования прорывных технологий производства электрической и тепловой энергии, в том числе в области атомной энергетики и возобновляемых источников;

3. Считать важным направлением развития электрогенерирующих мощностей с использованием парогазовых технологий на природном газе, а также развитие парогазовых технологий на твердом топливе.

4. Актуальными являются проблемы:

– повышение надежности и экономической эффективности действующих энергетических установок;

– повышения безопасности функционирования энергетических объектов.

5. Необходимость проведения научных исследований и широкого внедрения использования нетрадиционных источников энергии.

По итогам конференции лучшие доклады опубликованы в Journal of Physics: Conference Series (издательство IOP Publishing Ltd.), индексируемой базой данных Scopus. Кроме того, опубликован сборник докладов, который размещен в электронном виде и проиндексирован в РИНЦ.

УДК 621.3

II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Ахметова Ирина Гареевна, Иванова Вилия Равильевна,

Роженцова Наталья Владимировна

ФГБОУВО «Казанский государственный энергетический университет»,

г. Казань, Россия

irina_akhmetova@mail.ru, vr-10@mail.ru, natalia15969@yandex.ru

В материале представлена обзорная информация о результатах проведения IV Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»

Ключевые слова: конференция, онлайн-режим, интернет-ресурсы, участники.

II ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE “PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING”

Ahmetova Irina Gareevna, Ivanova Viliya Ravilevna,
Rozhentcova Natalia Vladimirovna

The material provides an overview of the results of the II All-Russian Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects for the Development of Electric Power and Electrical Engineering"

Keywords: conference, online mode, Internet resources, participants.

В период с 18 по 20 марта 2020 года в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» была проведена II Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники».

Научная конференция, организованная кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» ФГБОУ ВО «Казанский Государственный энергетический университет», была проведена в год празднования 100-летия образования Татарской АССР и 100-летия со дня принятия плана ГОЭЛРО.

В конференции, проведенной в онлайн режиме с использованием интернет ресурсов КГЭУ, приняло участие более 300 научных работников, представителей ведущих российских научных центров и ВУЗов (преподавателей, аспирантов, студентов), предприятий и организаций из различных регионов РФ, среди которых: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ФГБОУ ВО «Новосибирский государствен-

ный технический университет», ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (филиал в г. Салавате), ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», ФГБОУ ВО «Нижекамский химико-технологический институт», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «МИРЭА-Российский технологический университет», Камышинский технологический институт ((филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»), ЗАО «Завод строительных материалов» (г. Тольятти), ЗАО «Завод автоклавного газобетона» (г. Челябинск), АО «Чебоксарский электроаппаратный завод» (г. Чебоксары), ООО «Тепловые электрические сети» (г. Челябинск), АО «РМ Рейл Инжиниринг» (г. Саранск), АО «ОКБ-Планета» (г. Великий Новгород), ООО «ТД «Электротехмонтаж» (г. Санкт-Петербург), ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (г. Магнитогорск), АО «Башкирская электросетевая компания» (г. Уфа).

В работе конференции приняли участие зарубежные участники из ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» и Таджикский национальный университет.

На конференции было представлено 139 докладов на Пленарном заседании и в пяти секциях:

Секция 1. Проектирование и эксплуатация объектов электроэнергетики.

Секция 2. Энерго- и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.

Секция 3. Энергосиловое оборудование, электропривод и автоматизация.

Секция 4. Энергоэффективная промышленная светотехника.

Секция 5. Малая энергетика, возобновляемые источники энергии.

На пленарном заседании с приветственным словом выступили проректор по научной работе ФГБОУ ВО «КГЭУ» Ахметова Ирина

Гареевна; заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий и электротехнологий» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Цырук Сергей Александрович.

С докладом выступил Маклецов Александр Михайлович, профессор кафедры «Электроэнергетические системы и сети», канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». Доклад был посвящен вопросу развития электроэнергетики в России.

С докладом выступил Полуянович Николай Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и мехатроника» ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет». Доклад был посвящен описанию разработки нейросетевых методов прогнозирования термических процессов в электроизоляции кабельных линий.

С докладом выступил Мялковский Игорь Константинович, Управляющий ЭТМ по взаимодействию с ВУЗами и отраслевыми учебными центрами, член правления клуба ИТ-директоров г. Санкт-Петербург. Выступление было посвящено анализу ожидаемых изменений производительности предприятия в результате цифровизации объектов электротехники.

В ходе проведения конференции проводились обсуждения научных разработок ученых, преподавателей, студентов, аспирантов научных организаций, высших учебных заведений и промышленных предприятий в области совершенствования электроэнергетических систем и электротехнических комплексов по следующим научно-техническим проблемам:

- разработка и исследование перспективных прорывных технологий и технических решений по повышению эффективности использования топлива в процессах генерации, транспортировки, преобразования и потребления энергии;

- оборудование с экологически безвредной изоляцией (воздушные и сухие трансформаторы, реакторы, конденсаторы и т. д.);

- утилизация отработанного элегаза, свинца, кислот и других экологически опасных материалов;

- эффективность использования возобновляемых источников энергии;

- средства повышения информационной безопасности объектов электрических сетей;

- технические решения экономически эффективного развития и управлению зарядными станциями;

- ряд докладов были посвящены актуальным вопросам автоматизированной передачи, обработки и анализа данных о потреблении

энергоресурсов, а также оценке эффективности энергосберегающих технологий.

По итогам конференции опубликован сборник докладов (состоящий из двух томов) и размещен в электронном виде и проиндексирован в РИНЦ.

УДК 621.311

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аманова Гулфия Азаматовна, Денисова Алина Ренатовна
ФГБОУВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
amanova.gulfiya@mail.ru, denisova_ar@mail.ru

Функционирование промышленного оборудования находится в сильной зависимости от показателей электроэнергии, которые нормируются ГОСТ 32144-2013. Изучены основные виды промышленного оборудования, последствия низкого качества электроэнергии и их нормируемые показатели

Ключевые слова: промышленность, оборудование, качество электроэнергии, влияние, последствия

STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTRICITY QUALITY ON THE FUNCTIONING OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

Amanova Gulfiya Azamatovna, Denisova Alina Renatovna

The functioning of industrial equipment is strongly dependent on the electricity indicators, which are normalized by GOST 32144-2013. The main types of industrial equipment, the consequences of low power quality and their normalized indicators are studied

Keywords: industry, equipment, power quality, impact, consequences

В настоящее время ни одна отрасль промышленности не обходится без специального оборудования, необходимого для производства изделий и проведения различных технологических операций. Промышленное оборудование – это совокупность машин и механизмов, оказывающих в производственном процессе непосредственное механическое, химическое или термическое воздействие на предмет.

На данный момент существует огромное многообразие видов промышленного оборудования. Основная классификация по функциональной направленности подразумевает следующая:

1. машины для транспортировки;
2. машины-двигатели;
3. обрабатывающие станки (машины-орудия) [4].

В подавляющем большинстве промышленное оборудование рассчитано на переменное трехфазное напряжение ~ 380 В с частотой сети 50 Гц с нормируемыми отклонениями согласно действующему ГОСТу.

Отклонения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) от нормируемых стандартом значений приводят к ухудшению условий эксплуатации электрооборудования предприятий и потребителей электроэнергии. Также они могут нанести значительный ущерб как в бытовом секторе, так и в любой отрасли промышленности [5]. Экспертные оценки влияния качества электроэнергии на работу электрооборудования показывают, что потери, связанные с отклонениями частоты и величины напряжения, несимметрией напряжения и присутствием высших гармонических составляющих напряжения, составляет более 300 млрд. кВт*ч [7].

Наиболее распространенными типами электроприемников на различных предприятиях являются электродвигатели и установки электрического освещения, а также электротермические установки и вентиляные преобразователи.

Отклонения напряжения оказывают ощутимое влияние на работу асинхронных двигателей (АД), которые наиболее распространены в промышленности. При значительном снижении напряжения на выводах двигателей (при полной нагрузке), момент сопротивления механизма может превысить вращающий момент и привести к его “опрокидыванию”, т.е. к остановке двигателя. Отклонения напряжения также отрицательно влияют на работу электросварочных машин: к примеру, изменение напряжения в пределах 15 % приводит к 100 % браку продукции для машин точечной сварки [9].

Колебания напряжения оказывают сильное влияние на работу осветительных приборов и электронной техники. Значение колебания напряжения более 10 % может привести к потуханию газоразрядных ламп. Существенные колебания напряжения (более 15%) приводят к нарушению нормальной работы электродвигателей, что может привести к отпаданию контактов магнитных пускателей с последующим отключением работающих двигателей.

Несимметрия напряжения в сети опасна для синхронных машин из-за возникновения дополнительных потерь активной мощности, нагрева статора и ротора могут, возникновения опасных вибраций. При несим-

метрии напряжений ухудшается работа релейной защиты, происходят ошибки в работе счетчиков электроэнергии и т.д. [8].

При несинусоидальности напряжения высшие гармоники тока и напряжения создают дополнительные потери активной мощности во всех элементах системы электроснабжения, сопротивления элементов которых зависят от частоты.

Жесткие требования стандарта представлены к отклонениям частоты питающего напряжения ввиду значительного влияния частоты на режимы работы электрооборудования, ход технологических процессов производства и технико-экономические показатели работы промышленных предприятий. Известно, что снижение частоты на 1 % увеличивает потери в электрических сетях на 2 % . Наиболее чувствительными к понижению частоты являются двигатели собственных нужд электростанций, в которых происходит уменьшение производительности наряду со снижением располагаемой мощности генераторов, дальнейшим дефицитом активной мощности и снижением частоты (возможно возникновение лавины частоты). Отклонения частоты пагубно сказываются на работе электронной техники [3].

Из вышесказанного следует, что качество электроэнергии (КЭ) существенно влияет на надёжность электроснабжения электроприемников потребителей, так как аварийность в сетях с низким качеством электроэнергии выше, чем в сетях с показателями качества электроэнергии находящихся в допустимых пределах.

В настоящее время на предприятиях современное технологическое оборудование выполнено с высокой степенью автоматизации для изготовления продукции. При отклонениях от требуемого качества напряжения большая часть данного оборудования дает сбой в работе. Ошибка или сбой в работе станка из-за не надлежащего качества питающего напряжения, в свою очередь ведет к браку, срывам сроков, а значит к убыткам предприятия. Данные станки построены с использованием процессоров в качестве основного управляющего и контролирующего элемента. Более того, они имеют в своем составе и другие электромеханические системы, которые снабжены целым рядом защитных электронных устройств, которые должны защищать эти элементы в непредвиденных ситуациях [6].

Для выполнения требований по качеству энергообеспечения необходимо внедрять специальные технические устройства и системы, (устройства регулирования напряжения для каждого станка) обеспечивающие нормальное функционирование оборудования при отклонениях фазного напряжения в пределах 195–245 В [2].

Для электрических сетей необходимо применение технических мероприятий по обеспечению качества напряжения электрической энергии в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

В ГОСТ 32144-2013 представлены свойства электроэнергии, характеризующиеся нормируемыми показателями качества электроэнергии. Качество электрической энергии – это совокупность ее характеристик по частоте и напряжению, которые называются показателями качества электроэнергии (ПКЭ), и определяют воздействие электроэнергии на электрооборудование, электрические аппараты и приборы, подключенные к электрической сети. Все ПКЭ, установленные в ГОСТ 32144-2013, могут быть условно разделены на три группы.

К первой группе можно отнести отклонения частоты и отклонения напряжения, связанные с особенностями технологического процесса производства и передачи электроэнергии. Качество регулирования отклонений частоты и напряжения определяет их уровень в электроэнергетической системе.

Ко второй группе можно отнести ПКЭ, характеризующие несинусоидальность формы кривой напряжения, несимметрию и колебания напряжения. Источниками таких искажений (эмитентами) являются, главным образом, электроприемники. Для координации электромагнитных помех (ЭМП), вносимых этими электроприемниками, необходимо применение технических мероприятий как на этапе разработки и производства, так и в процессе их эксплуатации.

К третьей группе можно отнести ПКЭ, характеризующие случайные электромагнитные явления и электротехнические процессы, неразрывно связанные с технологическим процессом производства, передачи и потребления электроэнергии. К ним относятся провалы напряжения, перенапряжения и импульсы напряжения, возникающие в системе электроснабжения в результате коммутаций электрооборудования или разрядов молнии на линию электропередачи.

Показатели качества электроэнергии первых двух групп нормируются ГОСТ, и на них установлены два допустимых уровня: нормальный и предельный [1]. ПКЭ третьей группы не нормируются, но статистическая информация особенно важна для нормальной эксплуатации электроэнергетической системы.

Исходя из вышеизложенного становится очевидно, что качество электроэнергии питающей сети играет важную роль в нормальном

функционировании промышленного оборудования. Учитывая тот факт, что в настоящее время большинство электрооборудования на предприятиях (в частности станочный парк) выполняется с использованием элементов электроники, которая больше других восприимчива к изменениям показателей электроэнергии, необходимо уделять пристальное внимание поддержанию ПКЭ в допустимых пределах согласно ГОСТ и применять все возможные способы для контроля и регулирования рассмотренных показателей.

Литература

1. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. № 11-12/2018, С. 99–106.
2. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии, 2017.
3. Ананичева С.С., Алексеев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии регулирование напряжения и частоты в энергосистемах, 2012.
4. Классификация промышленного оборудования. Доступно по: URL: <https://www.spdt.ru/articles/klassifikatsiya-promyshlennogo-oborudovaniya/>. Ссылка активна на 15.01.2021.
5. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников. Доступно по: URL: <https://www.ruselt.ru/information/vliyanie-kachestva-elektroenergii-na-rabotu-elektropriemnikov/>. Ссылка активна на 15.01.2021.
6. Анализ влияния качества электроэнергии на технологические процессы и оборудование на предприятии. Доступно по: URL: https://studopedia.ru/29_12686_lektsiya--analiz-vliyaniya-kachestva-elektroenergii-na-tehnologicheskie-protsessi-i-oborudovanie-na-predpriyatii.html. Ссылка активна на 15.01.2021.
7. Иванова В.Р., Фетисов Л.В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2018. № 9–10. С. 120–129.
8. Сенчук Д.А., Цырук С.А., Матюнина Ю.В. Разработка алгоритма ценозависимого управления потреблением электрической энергии на промышленном предприятии // Промышленная энергетика, № 4, 2020. С. 2–7.
9. Федотов А.И., Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Патент на полезную модель № RUS 72543 Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения: заявлено 07.12.2007

10. Малёв Н.А., Мухаметшин А.И., Погодицкий О.В. и др. Сравнительный анализ аппаратно-программного обеспечения метода контроля функционирования электромеханических преобразователей постоянного тока // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 5. С. 142–154.

УДК 621.3

ДИАГНОСТИКА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ 10 КВ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ СЕКЦИЙ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Андреев Антон Андреевич
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти, Россия
Bikurina@yandex.ru

В статье приводятся результаты моделирования сети сизолированной нейтралью при кратковременном объединении её секций на параллельную работу в режиме однофазного короткого замыкания, а так же анализ основных электрических параметров изменяющихся при этом процессе.

Ключевые слова: электроснабжение, ОЗЗ, земля в сети, изолированная нейтраль, кабельные линии.

DIAGNOSTICS OF SINGLE-PHASE EARTH FAULTS IN CABLE LINES 10 KV WHEN COMBINING SECTIONS FOR PARALLEL OPERATION

Andreev Anton Andreevich

The article presents the results of modeling a network with an isolated neutral when its sections are briefly combined for parallel operation in the single-phase short-circuit mode, as well as an analysis of the main electrical parameters that change during this process.

Keywords: power supply, SPEF, land in the network, isolated neutral, cable lines.

В настоящий момент однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются наиболее частым видом повреждения в линиях электропередач. Для сетей среднего напряжения, работающих как с изолированным, так и с компенсированным режимом нейтрали, этот вид замыкания наиболее нежелателен, так как поиск и локализация поврежденной линии может занимать продолжительное время [1]. Это особенно актуально для сетей мегаполисов, где транзит электроэнергии осуществляется посредством кабельных линий. Поскольку повреждение проложенного в земле кабеля

визуализировать невозможно, до тех пор, пока не будут выполнены соответствующие мероприятия, то локализацию повреждения необходимо осуществлять до определения поврежденной линии. Согласно инструкции по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем, утвержденной приказом Минэнерго РФ, отыскание замыкания на землю производится методом последовательного деления и перегруппирования сети [2]. Он заключается в делении сети на два участка, с целью разграничения нормальной и поврежденной частей сети. Это деление производится до тех пор, пока не будет выделена тупиковая подстанция, где уже последовательно отключаются отходящие присоединения, с целью фиксации повреждения. Так как метод инструкции изложен в общем виде, то в неё внесен пункт, согласно которому подобный метод может быть разработан для каждой сети индивидуально. Подобная формулировка метода применима для кольцевой конфигурации схем, но для двухлучевой схемы, которая наиболее актуальна для мегаполисов, до сих пор не существует обоснования.

С целью систематизации и последовательной локализации ОЗЗ в кабельных линиях была смоделирована двухсекционная электрическая сеть (рис. 1).

Моделирование производится в программной среде `matlab` с расширенным пакетом `Simulink`. В качестве генератора местной электростанции был выбран блок `Simplified Synchronous Machine`. Линия электропередач, выполненная кабелем марки АСБ-3х120, представлена блоком `PI Section Line`. Понижающий трансформатор марки ТМ-630/10/0,4, обеспечивающий электроэнергией потребителя, соответствует блоку `Three-PhaseTransformer`. Активно-реактивная нагрузка – блоком `Three-PhaseRLCLoad`. Параметры всех блоков приближены к их соответствующему реальному оборудованию [3]. Электропитание осуществляется в сети с изолированной нейтралью, при напряжении 10 кВ. Секции сети совпадают по своим электрическим параметрам и условиям параллельной работы [4]. После включения систем в работу, с помощью разъединителя `Breaker`, производится замыкание фазы «С» на землю. Соответственно, на поврежденной линии напряжение этой фазы падает до нуля, а на фазах «А» и «В» повышается до линейного [5]. После этого, через 0,2 секунды включается секционный выключатель (`Three-Phase Breaker`). График зависимости напряжения от времени представлен на рисунке 2.

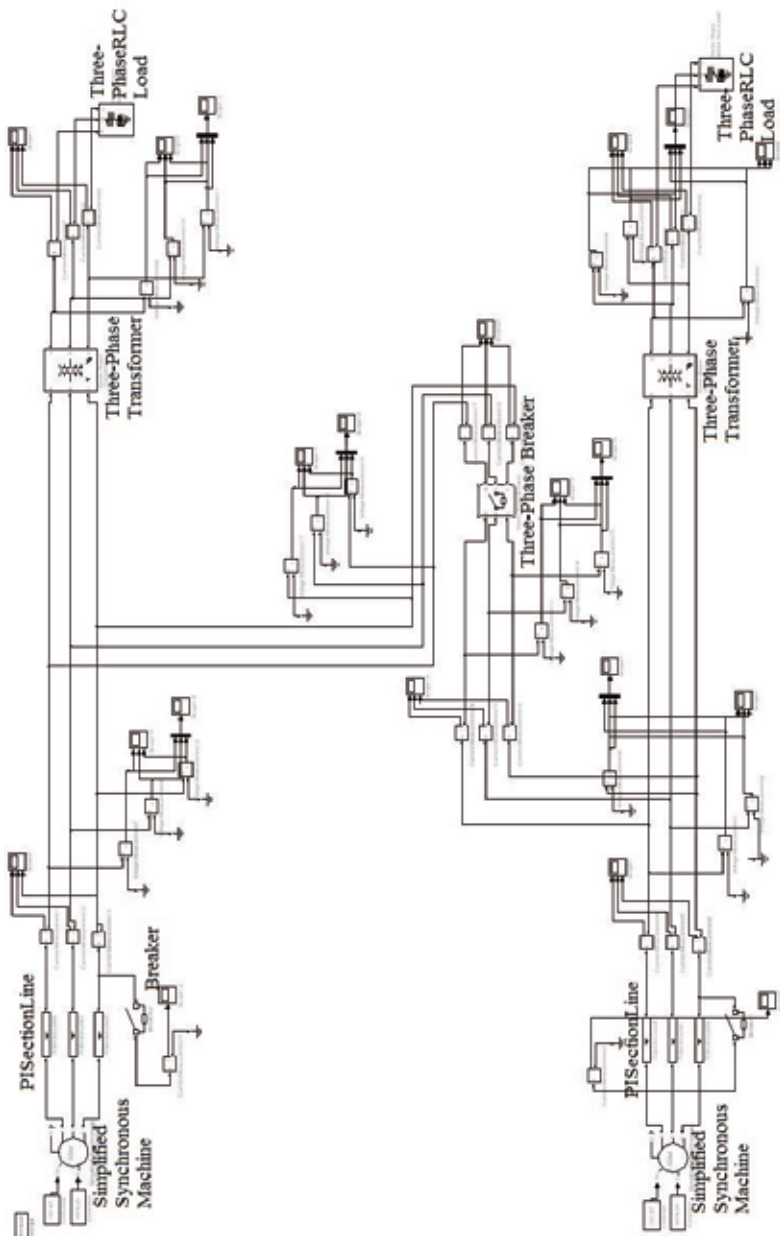


Рис. 1. Модель двухсекционной электрической сети

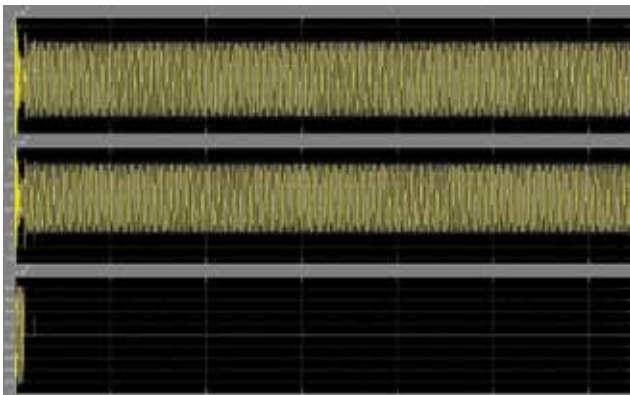


Рис. 2. График зависимости напряжения от времени при объединении секций во время ОЗЗ

Как видно, перенапряжения во время коммутаций не достигают больших значений. В момент замыкания, на «здоровых» фазах амплитудное значение напряжения достигло 20 кВ, что соответствует 14 кВ среднеквадратичного. При объединении же секций, амплитудное значение достигает 17,5 кВ, соответствующее 12,3 кВ. На поврежденной фазе, напряжение кратковременно возрастает до 3 кВ его амплитудного значения.

Таким образом, кратковременное объединение секций в двухлучевой конфигурации схемы возможно. При своевременном обслуживании и испытании кабельных линий, согласно РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования», подобные повышения напряжения допустимы.

Литература

1. Емельянов Н.И., Ширковец А.И. Актуальные вопросы применения резистивного и комбинированного заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ // Энергоэксперт. Новосибирск, 2010. № 2. С. 44–50.

2. Об утверждении Инструкции по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем : приказ Минэнерго РФ от 30.06.2003 № 289, Москва, Кремль. Доступно по: URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minenergo-rf-ot-30062003-n-289-ob-utverzhdanii>.

Ссылка активна на 05.02.2021.

3. Таранов М.А. Эксплуатация электрооборудования. М.: Форум, 2016. 176 с.

4. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 268 с.

5. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энас, 2012. 519 с.

6. Меламед Л.Э. Метод встроенных решений в моделировании турбулентности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 5. С. 28–40.

7. Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р. и др. Управляющая измерительно-информационная система экспериментального стенда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 4. С. 88–98.

УДК 621.3.018.3

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА БЫТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СПОСОБЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

Даутов Рамиль Рафикович

ФБГОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

г. Казань, Россия

ramildautov@yandex.ru

В данной статье рассматривается негативное влияние высших гармоник на бытовое оборудование. Показаны какие приборы влияют на искажение напряжения электросети и способы его снижения. К чему может привести высшие гармоники в электрической сети.

Ключевые слова: высшие гармоники, негативное влияние, источники, приборы, способы устранения.

INFLUENCE OF HIGHER HARMONICS ON HOUSEHOLD EQUIPMENT AND WAYS TO REDUCE THEM

Dautov Ramil Rafikovich

This article discusses the influence of higher harmonics on household equipment, which devices affect voltage distortion and ways to reduce them. What can lead to higher harmonics in the electrical network.

Keywords: higher harmonics, influence, sources, devices, methods of elimination

В этом обзоре был рассмотрен вопрос влияния высших гармоник на бытовое оборудование, источники и способы устранения гармоник.

Многие бытовые приборы питаются от электросети, поэтому их долговечность определяется и качеством поступающей электроэнергии.

Нормальный режим работы не означает, что приборы безопасны. Эмиссия ими высших гармоник тока вызывают искажение напряжения электросети [1].

Рассмотрим, как и на что влияют высшие гармоники электросети уже на сами нагрузки и к чему может привести их наличие.

1. Влияние на учет электроэнергии – работу электросчетчика.

Помимо заложенной погрешности в систему учета в нормальных условиях эксплуатации, высшие гармоники дают дополнительную погрешность. Обслуживающая организация недосчитывается электроэнергии, что может привести к разбирательствам с потребителем из-за несоответствия подсчетов с обеих сторон.

2. Влияние на работу телевизора.

Высшие гармоники влияют на амплитуду напряжения, что вызывает искажение изображения и яркости. Такие заметные проблемы имеют место только у старых телевизоров. Экраны современных телевизоров выполнены светодиодах, которые благодаря питанию от стабилизированного источника практически не чувствительны к перепадам напряжения электросети.

3. Основные последствия влияния на бытовые приборы.

Высшие гармоники увеличивают скорость износа и способствуют перегреву элементов в приборах, что способствует быстрому выходу их из строя. Они могут быть причинами ложных срабатываний защитного оборудования.

4. Влияние на работу осветительных приборов.

Наиболее чувствительны к высшим гармоникам газоразрядные лампы высокого давления. Протекание высших нечетных гармоник приводит к искажению синусоидальных напряжений, увеличиваются потери напряжения и мощности.

При несинусоидальности напряжения электросети повышается шум, а из-за содержания конденсатора на входе пускорегулирующего аппарата газоразрядных светильников возможен электрический резонанс, приводящий к сокращению срока службы.

Источниками гармоник в быту являются:

- вращающиеся машины (стиральные аппараты);
- оборудование, которое содержит трансформатор (СВЧ-печь);
- зарядные устройства.

Эти оборудования «насыщают» сеть высшими гармониками, сумма которых этих гармоник вызывают искажение синусоидальности напряжения сети. Если телекоммуникационные линии находятся вблизи таких приборов, то в них возможно искажение похождения сигнала. В этом можно легко убедиться, если рядом с включенной микроволновой печью находится источник или потребитель *WI-FI* сигнала [3].

Способы устранения гармоник:

Высшие гармоники нельзя устранить полностью в месте подключения нагрузок, их можно только сократить до безопасного уровня.

Самый простой способ уменьшения высших гармоник – это последовательное включение во внешнюю сеть нагрузок линейных дросселей. На основной частоте (1-й гармоники) индуктивное сопротивление мало, а на высших гармониках большое, что приводит к снижению их влияния на электросеть.

Если не удастся уменьшить гармонические искажения тока до требуемых значений, то применяют пассивные фильтры. Они настраиваются на определенные высшие гармоники [4].

В качестве активного фильтра магнитный синтезатор, активный кондиционер гармоник, принцип действия которого основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой [2].

Частично снизить несинусоидальность напряжения электросети снизив ее электросопротивление, путем увеличения сечения кабеля, но такой метод снижает только активное сопротивление, оставляя неизменным индуктивное [5].

Литература

1. Алибеков С.Я., Андреев Н.К., Афанасьев Е.П. и др. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике: В трех томах// Казань, 2018. Том 2. Инновационные решения и новые материалы

2. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / В 3 т. / под общ.ред. Э.Ю. Абдуллаязнова, Э.В. Шамсутдинова. – Казань : Казан.гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

3. Сидоров А.Е., Камалетдинов Р.И. Формирование оптимальной структуры системы электроснабжения для бесперебойного питания // В сборнике: Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники. материалы II Всероссийской научно-практической конференции : в 2 т. Казанский государственный энергетический университет. Казань, 2020. С. 244–248.

4. electricalschool.info: сайт. Москва, 2008-2020. Доступно по:URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/260-vlijanie-vysshikh-garmonik.html>. Ссылка активна на 08.01.2021.

5. tensy.ru: статьи: сайт / учредитель ООО «НПК «Энергетические технологии» Москва, 2021. Доступно по: URL: <https://www.tensy.ru/stati/>

problemy-vysshikh-garmonik-v-sovremennykh-sistemakh-elektropitaniya/.Ссылка активна на 10.01.2021.

6. Цырук С.А., Матюнина Ю.В. К вопросу расчетного определения объемов бездоговорного и безучетного электропотребления // Промышленная энергетика, 2017, № 2. С. 60–62.

7. Мустафин Р.Г., Ярыш Р.Ф. Дифференциальный способ обнаружения витковых замыканий в трехфазном трансформаторе // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 3. С. 78–89.

УДК 061.2

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Роженцова Наталья Владимировна,
³Афонина Надежда Константиновна, ⁴Галяутдинова Людмила Юрьевна,
⁵Басова Татьяна Геннадьевна
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
⁴МБОУ «Гимназия 7 им. Героя России Козина А.В.», г. Казань, Россия
⁵МБОУ «Гимназия 179-центр образования», г. Казань, Россия
¹denisova_ar@mail.ru, ²natalia15969@yandex.ru, ³nadiaafonina1406@gmail.com,
⁴ludmila_gimm7@mail.ru, ⁵basova.t64@mail.ru

Одним из инструментов выявления энергоэффективности муниципальных образований, является создание базы данных, включающей информацию о техническом состоянии и энергопотреблении всех зданий и учреждений. Ее создание и использование дает возможность получить сравнительную характеристику эффективности использования энергии в них, что позволит наиболее рационально распоряжаться имеющимися финансовыми ресурсами. Разработаны основные энергосберегающие мероприятия в муниципальных образованиях.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, энергоаудит, энергетические обследования.

ENERGY SAVING IN MUNICIPAL FORMATIONS

Denisova Alina Renatovna, Rozhentsova Natalya Vladimirovna, Afonina Nadezhda Konstantinovna, Galyautdinova Lyudmila Yurievna, Basova Tatjana Gennadievna

One of the tools for identifying the energy efficiency of municipalities is the creation of a database that includes information on the technical condition and energy consumption of all buildings and institutions. Its creation and use makes it possible to obtain a comparative characteristic of the efficiency of energy use in them, which will allow the most rational use of the available financial resources. The main energy saving measures have been developed in municipalities.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy audit, energy audits.

Муниципальные образования – городское, сельское поселение или иная территория, на которой в соответствии с законом осуществляется местное самоуправление, действуют выборные и иные органы местного самоуправления.

В соответствии с Федеральным законом от 6 октября 2003 года № 131-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» в Российской Федерации существуют 5 видов муниципальных образований:

– сельское поселение – один или несколько объединенных общей территорией сельских населенных пунктов (поселков, сел, станиц, деревень, хуторов, кишлаков, аулов и других сельских населенных пунктов), в которых местное самоуправление осуществляется населением непосредственно и (или) через выборные и иные органы местного самоуправления

– городское поселение – город или поселок, в которых местное самоуправление осуществляется населением непосредственно и (или) через выборные и иные органы местного самоуправления

– муниципальный район – несколько поселений или поселений и межселенных территорий, объединенных общей территорией, в границах которой местное самоуправление осуществляется в целях решения вопросов местного значения межпоселенческого характера населением непосредственно и (или) через выборные и иные органы местного самоуправления, которые могут осуществлять отдельные государственные полномочия, передаваемые органам местного самоуправления федеральными законами и законами субъектов Российской Федерации

– городской округ – городское поселение, которое не входит в состав муниципального района и органы местного самоуправления которого осуществляют полномочия по решению установленных настоящим Федеральным законом вопросов местного значения поселения и вопросов местного значения муниципального района, а также могут осуществлять отдельные государственные полномочия, передаваемые органам местного самоуправления федеральными законами и законами субъектов Российской Федерации

– внутригородская территория города федерального значения – часть территории города федерального значения, в границах которой местное самоуправление осуществляется населением непосредственно и (или) через выборные и иные органы местного самоуправления

Распределение населения по типам муниципальных образований: городские округа – 38,3 %; городские поселения – 16,1 %; сельские

поселения – 35,2 %; внутригородские территории городов федерального значения – 10,4 %.

В большинстве муниципальных зданий России, таких как школы, больницы, детские сады, офисы и прочее, энергия расходуется крайне неэффективно. Затраты на 1 м² отапливаемой площади значительно превышают аналогичные показатели стран Северной Европы.

Практический опыт, накопленный в Мурманской, Архангельской областях и Республике Карелия, показывает, что при грамотном подходе к разработке и реализации энергосберегающих проектов, в существующих зданиях достигается экономия энергии от 30 до 60 % при сроке окупаемости инвестиций не более 5 лет. Это означает, что сегодня как минимум треть муниципальных затрат на энергоснабжение зданий теряется, не принося никакой пользы.

Одним из инструментов выявления энергоэффективности муниципальных образований, является создание базы данных, включающей информацию о техническом состоянии и энергопотреблении всех зданий и учреждений. Ее создание и использование дает возможность получить сравнительную характеристику эффективности использования энергии в них, что позволит наиболее рационально распоряжаться имеющимися финансовыми ресурсами.

Комплексный подход при выявлении энергоэффективности подразумевает решение следующих задач :

- обучение местных специалистов вопросам эффективного использования энергии;
- создание рабочей группы энергоэффективности для разработки и реализации программы и для обеспечения участия всех необходимых муниципальных департаментов;
- выявление имеющихся проблем и разработка плана по устранению препятствий на пути развития программы энергоэффективности;
- создание базы данных по энергопотреблению муниципальных зданий;
- создание схем финансирования на принципах «револьверного фонда», когда сэкономленные средства направляются на реализацию следующих проектов: создание системы энергомониторинга, позволяющей поддерживать энергопотребление на оптимальном уровне;
- совершенствование методов эксплуатации и обслуживания; разработку среднесрочной и долгосрочной программ энергетической эффективности.

Основные энергосберегающие мероприятия в муниципальных образованиях [2]:

1. Поведенческое энергосбережение:

– укоренение у людей привычки к минимизации использования энергии, когда она им не нужна, что можно выразить привычным лозунгом «Уходя – гасите свет».

– необходимо осознание людьми положения, что энергосбережение – экономически выгодно.

Достигается это информационной поддержкой, методами пропаганды, обучением со школьной скамьи энергосбережению. Т.е. поведенческое энергосбережение подразумевает обеспечение потребностей при меньшем потреблении энергоресурсов, и это в основном обеспечивается без совершенствования технологий. Как показывает опыт, поведенческое энергосбережение может составлять до 10 % от всего потенциала энергосбережения.

2. Совершенствование энергетических установок потребителей:

– Ликвидация маломощных нерентабельных котельных.

– Реконструкция тепловых сетей с заменой устаревших трубопроводов и изоляционных материалов.

– Применение частотного регулирования приводов сетевых насосов.

– Снижение потерь тепловой энергии путем промывки котлов, теплообменников и трубопроводов от грязи, накипи и коррозионных отложений.

– Замена устаревших и отработавших назначенный изготовителем ресурс котлов и другого оборудования.

– Внедрение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов.

– Внедрение пластинчатых теплообменников.

– Замена механических газовых счетчиков на электронные узлы учета газа в котельных.

– Установка теплосчетчиков на домовых вводах теплосети.

– Повышение ресурса и снижение затрат на эксплуатацию тепловых пунктов за счет внедрения блочных тепловых пунктов заводской готовности.

– Внедрение систем регулирования подачи теплоносителя у потребителей с использованием: регуляторов приборов отопления и автоматизированных узлов управления.

– Перевод котельных на местные виды топлива.

– Использование самонесущих изолированных проводов (СИП) в сетях 0,4 кВ.

– Замена электросчетчиков.

– Внедрение нового оборудования для снижения потребления электроэнергии установками наружного освещения и мест общего пользования в зданиях (лестничные клетки, коридоры).

– Замена оборудования (например, трансформаторы, электродвигатели насосов и др.) на меньшую мощность.

3. *Энергосбережение в зданиях и сооружениях, улучшение их конструкций:*

– Оборудование радиаторов отопления отражающими экранами из фольгированного алюминия и гипсокартона (срок окупаемости до 4 лет) и утепление пола первого этажа и чердачного покрытия (срок окупаемости до 10 лет).

– Установка оконных блоков с тройным остеклением.

– Установка терморегуляторов на отопительных приборах систем отопления жилых домов.

– Установка тепловых счетчиков в узлах управления систем отопления.

– Утепление наружных ограждающих конструкций жилья существующих панельных домов.

– Утепление чердаков и подвальных помещений.

– Ремонт фасадов, отмосток, цоколя, в жилых домах.

На все эти три основные группы накладывается система мер как ограничительных, так и стимулирующих. Одна из основных задач – сделать энергосбережение выгодным бизнесом как для организаций, профессионально занимающихся энергосбережением, так и для инвесторов. С другой стороны, энергосбережение должно быть превращено для потребителей энергоресурсов в доступный способ снижения расходов. Потребность в конкретных технологиях, проведении определенных мероприятий, необходимости снижения определенных показателей должна появиться при соответствующем тарифном регулировании, экологических ограничениях, ограничениях по использованию топлива и т.д.[3].

Наиболее эффективными в муниципальных образованиях являются, широко внедряемые в последнее время, системы автоматического регулирования потребления тепла (САРТ) и спроектированные с их использованием унифицированные модули блочных тепловых пунктов (БТП).

Литература

1. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010.248с.

2. Байков И.Б. Состояние и задачи в области энергосбережения в Республике Башкортостан // Энергосбережение на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства: тр.науч.-практич. Семинара (26 февраля 2009 г., г. Стерлитамак). Уфа: Гилем, 2009. С. 15–23.

3. Сенчук Д.А., Цырук С.А., Рыжкова Е.Н. Расчет экономической эффективности участия промышленных потребителей в ценозависимом потреблении // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017, № 5. С. 86–91.

4. Федотов А.И. Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика, № 12, 2016. С. 28–33.

5. Ivanova V.R., Denisova A.R. Automation and control of the main elements of the electrotechnical system of biogas equipment // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 190–196.

6. Голенищев-Кутузов А.В., Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р. и др. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 2. С. 117–127.

УДК 621.316

ТЕХНОЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ АНАЛИЗЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Калинин Алексей Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург
kaekae171717@gmail.com

Для анализа электропотребления предприятия составляется база данных, описывающая объекты в структуре техноценоза. На ее основе строятся ранговое видовое и видовое распределения. Анализ графиков позволяет сделать вывод о номенклатуре объектов, чрезмерной унификации или разнообразии технологических единиц.

Ключевые слова: аномальное потребление электроэнергии, техноценоз, ранговое видовое распределение, видовое распределение.

TECHNOSERVICES APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ENERGY CONSUMPTION IN TELECOMMUNICATIONS COMPANIES

Kalinin Alexey Evgenievich

To analyze the power consumption of the enterprise, a database is compiled that describes the objects in the structure of the technocenosis. On its basis, rank-specific and species-specific distributions are constructed. The analysis of graphs allows us to draw

a conclusion about the nomenclature of objects, excessive unification or diversity of technological units.

Keywords: anomalous electricity consumption, technocenosis, rank species distribution, species distribution.

Термин «техноценоз» имеет греческие корни «τέχνη» – мастерство и «koinós» – общий. Рассмотрение технических систем, как систем аналогичных биологическим, обусловлено активным развитием теории системного анализа в 70-80-ых годах прошлого века. Системный подход как метод исследования для решения проблем, возникающих при создании, построении, формировании сложных технических систем, позволяет нетривиальным образом описать их и дать большие практические результаты: возможность управления формированием технических систем на основе познанных объективных закономерностей. Научную школу техноценоза основал Б.И. Кудрин, в дальнейшем ее развивали такие ученые как В.В. Фуфаев, В.И. Гнатюк, Б.В. Жилин, В.В. Прокопчик, М.Г. Ошуков.

Для корректного математического описания техноценоза необходимо построение рангового распределения особей техноценоза, под которым понимается убывающая последовательность значений параметров, упорядоченная таким образом, что каждое последующее число меньше предыдущего, и поставленная в соответствие рангу. Ранг – это номер по порядку в ряду натуральных чисел, расположенных по возрастанию [1].

На основе законов Ципфа разнообразие видов в техноценозе описывается с помощью трех моделей гиперболического H -распределения: видовое распределение, ранговидовое распределение и ранговое параметрическое распределение.

В статье в качестве техноценоза рассматривается предприятие телекоммуникационной связи. В качестве временного периода рассматривается 2019 год. При составлении базы данных было выявлено, что структура техноценоза подвергалась существенному изменению: в апреле численность объектов-особей резко возросла. Это было связано с тем, что произошло объединение рассматриваемого техноценоза с подразделением другой телекоммуникационной компании. Для того чтобы зафиксировать границы техноценоза, было принято решение рассматривать как объекты, находящиеся в ценозе в начале года, так и присоединившиеся в апреле и мае. Таким образом, рассматриваемый техноценоз включает 156 объектов - особей.

Была составлена табличная база данных, каждый объект-особь имеет следующие характеристики:

- район электрической сети (РЭС), в котором он расположен;
- питающая подстанция (ПС);
- фидер 10/6 кВ, соединяющий питающую подстанцию и трансформаторную подстанцию 10/0,4 (ТП);
- наименование потребителя, номер договора электроснабжения;
- расход за каждый месяц года, включающий исходный расход, вычитаемый расход, расход без потерь, потери и итоговый расход в кВт · ч. База данных составлялась на основе исходной выгрузки для потребителей Оренбургского района за каждый месяц. В базу данных включались только те объекты, записи о которых были во всех таблицах в течение года.

В результате анализа исходных данных была получена видовая структура техноценоза, представленная в таблице 1.

Из анализа таблицы 1 видно, что первую строчку занимает самый многочисленный вид – «Мультисерверный узел доступа». Особи этого вида имеют небольшое электропотребление. Также наблюдается закономерность: чем меньше популяция вида, тем больше электропотребление объектов-особей.

Таблица 1

Табулированное ранговое видовое распределение техноценоза

| Ранг вида | Вид | Число объектов | Годовое электропотребление, кВт·ч |
|-----------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| 1 | Мультисерверный узел доступа | 62 | 118 - 6 000 |
| 2 | Объекты в населенных пунктах | 25 | 300 - 20 000 |
| 3 | Объект кабельного телевидения | 15 | 148- 4 983 |
| 4 | АТС | 14 | 293 - 428 000 |
| 5 | Таксофон | 8 | 400 - 2 000 |
| 6 | ВКС | 7 | 6 740 – 20 252 |
| 7 | Контейнер | 7 | 3 965 – 12 134 |
| 8 | ПСЭ | 4 | 11 016 – 22 071 |
| 9 | Ввод | 4 | 323 733 – 794 558 |
| 10 | Мачта | 3 | 1 457 – 20 109 |
| 11 | Радиозузел | 2 | 23 947 – 79 891 |
| 12 | Офис | 2 | 270 222 -636 240 |
| 13 | Концентратор | 1 | 46 578 |
| 14 | Склады | 1 | 41 938 |
| 15 | Передающий центр | 1 | 123 835 |

Как видно из таблицы 1, 3 вида представлено одной особью; 2 вида – двумя особями; 1 вид – тремя особями; 2 вида – четырьмя особями и так далее. Полученное распределение подтверждает теоретическое положение: чем больше численность особей вида, тем меньше количество таких видов. Так, только один вид имеет численность 62 особей, еще один – 25 особей, тогда как по одной особи содержит в себе 3 вида. Это распределение служит подтверждением информационного отбора.

Ранговое видовое распределение изображено в графической форме на рисунке 1. Оно отображает зависимость количества особей, которыми представлен вид в техноценозе, от ранга. Каждой точке соответствует вид техники, его ранг подписан по оси абсцисс. По оси ординат указывается численность особей вида. На рисунке точки соединены гладкой аппроксимирующей кривой.

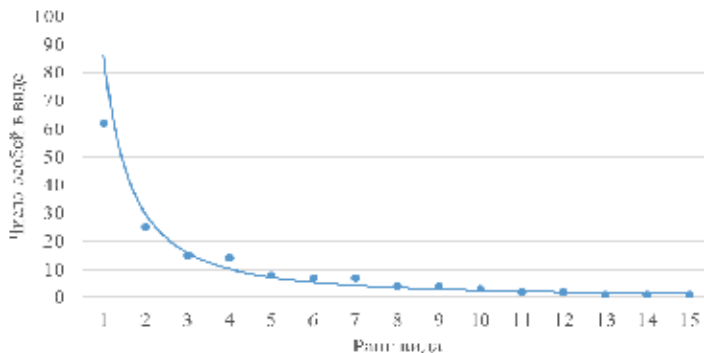


Рис. 1. Ранговое видовое распределение техноценоза

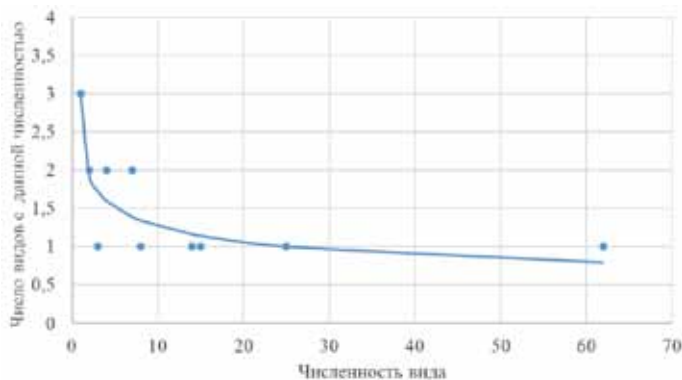


Рис. 2. Видовое распределение техноценоза

На основе таблицы 1 также строится видовое распределение, рисунок 2. По оси абсцисс откладывается численность объектов-особей одного вида. По оси ординат откладывается количество видов, представленных в техноценозе.

В видовом распределении объекты не ранжируются, поэтому есть точки, отклоняющиеся от аппроксимирующей кривой. Те точки, что находятся под аппроксимирующей кривой (3;1); (8;1), характеризуют повышенную унификацию, при которой один вид техники (таксофоны, мачты связи) выполняет свою технологическую функцию. Есть также точки, отклоняющиеся выше кривой (4,2); (7,2). Это свидетельствует о большом разнообразии техники в этой зоне [2].

Построенные распределения позволяют судить о структуре техноценоза. Был сделан вывод как о чрезмерной унификации, так и о чрезмерном разнообразии некоторых видов техники в структуре техноценоза. Для дальнейшего исследования техноценоза, выявления аномального электропотребления объектами необходимо построить ранговое параметрическое распределение, а также произвести интервальное оценивание [3].

Литература

1. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Методика определения оптимальных норм электропотребления // Прикладная информатика. 2014. № 3 (51). С. 68–78.
2. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов // КиЦ «Техноценоз». Калининград, 2019. 940 с.
3. Гнатюк В.И. Оптимальное управление электропотреблением регионального электротехнического комплекса (техноценоза) // М.: ИПП РАН, 2006. 147 с.

УДК 621.316

РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЦЕНОЗА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Калинин Алексей Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург
kaekae171717@gmail.com

При исследовании систем электроснабжения на основе техноценологического подхода используется ранговый анализ, первым этапом которого является построение

рангового Н-распределения. Далее вокруг функции, аппроксимирующей распределение, определяется доверительный интервал, внутри которого параметры объектов считаются нормальными. Для объектов, находящихся за пределами доверительного интервала следует провести аудит и предложить меры по оптимизации техноценоза.

Ключевые слова: аномальное потребление электроэнергии, техноценоз, ранговое параметрическое распределение.

RANK ANALYSIS OF POWER CONSUMPTION OF OBJECTS OF THE TECHNOGENOSIS OF A TELECOMMUNICATIONS ENTERPRISE

Kalinin Alexey Evgenievich

Rank analysis is used to study the electricity supply systems on the basis of technoservices approach. The first stage of rank analysis is the construction of a rank N-distribution. Next, a confidence interval is defined around the function approximating the distribution. Within the confidence interval, the object parameters are considered normal. For objects that are outside the confidence interval, an audit should be conducted and measures should be proposed to optimize the technocenosus.

Keywords: anomalous power consumption, technocenosus, rank parametric distribution.

Для рангового анализа уровня электропотребления необходимо составить информационную базу данных об объектах, которая бы включала в себя ранг объекта, его вид, и видообразующий параметр – электропотребление. Далее, для проведения рангового анализа объектов техноценоза, необходимо построение рангово-параметрического распределения с определением параметров аппроксимирующей гиперболической функции, стандартная форма которой имеет вид:

$$f(x) = \frac{A}{x^\beta}, \quad (1)$$

где A и β – искомые параметры.

Выбор стандартной формы объясняется удобством и приемлемой погрешностью, хотя она и не учитывает ранговое искажение [1]. Ее преимуществом является то, что задача определения сводится к нахождению всего двух параметров – A и β . Для аппроксимации применяется метод наименьших квадратов, широко используемый в практике и дающий минимальную среднеквадратичную ошибку.

Оценка техноценоза осуществляется на основе анализа динамики ранговых коэффициентов во времени. Для этого выделяют тренды, характеризующие общее направление изменения структуры электро-

потребления техноценоза за рассматриваемый промежуток времени. Согласно исследованиям [2-4] идеальное распределение будет задаваться интервальной оценкой требований к параметру β :

$$0,5 \leq \beta \leq 1,5, \quad (2)$$

Рост рангового коэффициента со временем характеризует разрыв между крупными и мелкими элементами техноценоза. Постоянство коэффициента отвечает за сохранение структуры, а уменьшение коэффициента говорит о сокращении разрыва между крупными и мелкими особями. Значительный рост или снижение рангового коэффициента β являются нежелательными, так как нарушается стабильность функционирования техноценоза.

Одной из важнейших процедур рангового анализа для выявления объектов с аномальным уровнем потребления электроэнергии является процедура интервального оценивания рангового параметрического распределения. При интервальном оценивании определяются эмпирические точки, выходящие за пределы доверительного интервала, построенного относительно аппроксимационной кривой распределения. Эти точки и показывают ранг объектов, потребление которых аномально. Если точка находится ниже доверительного интервала, то электропотребление объекта аномально мало. Возможными причинами являются частые отключения электроэнергии, неплатежи, избыточная экономия. А если выше, то электропотребление объекта аномально высоко. Перечень таких объектов нуждается в детальном рассмотрении для выявления причин аномального электропотребления.

Рассмотрим применение процедур рангового анализа к объектам телекоммуникационного предприятия. Рассматривается ежемесячное и годовое электропотребление за 2019 год 156 объектами, образующими техноценоз.

Для построения Н-распределения были определены параметры гиперболической функции, аппроксимирующей электропотребление за каждый месяц и за год. Результаты сведены в таблицу 1.

Визуализация экспериментальных данных (ломанная синяя линия) и аппроксимирующей функции (сглаженная оранжевая линия) для годового потребления объектами техноценоза представлена на рисунке 1.

Таблица 1

Модели электропотребления объектов

| Период | Модель электропотребления, кВт·ч | Период | Модель электропотребления, кВт·ч |
|-----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| Январь | $W = 994023,63 x^{-2.07}$ | Июль | $W = 772343,38 x^{-2.05}$ |
| Февраль | $W = 272338,93 x^{-1.79}$ | Август | $W = 939792,94 x^{-2.07}$ |
| Март | $W = 506289 x^{-1.92}$ | Сентябрь | $W = 1139509,91 x^{-2.14}$ |
| Апрель | $W = 729583,76 x^{-2.01}$ | Октябрь | $W = 1030873,23 x^{-2.13}$ |
| Май | $W = 915605,57 x^{-2.05}$ | Ноябрь | $W = 1094642,32 x^{-2.1}$ |
| Июнь | $W = 713795,53 x^{-2.04}$ | Декабрь | $W = 689384,97 x^{-1.95}$ |
| Всего год | | | $W = 10889184,58 x^{-2.01}$ |

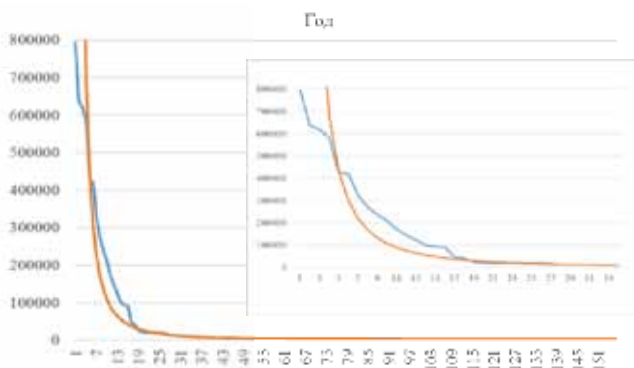


Рис. 1. Годовое N-распределение электроэнергии: аппроксимирующая кривая

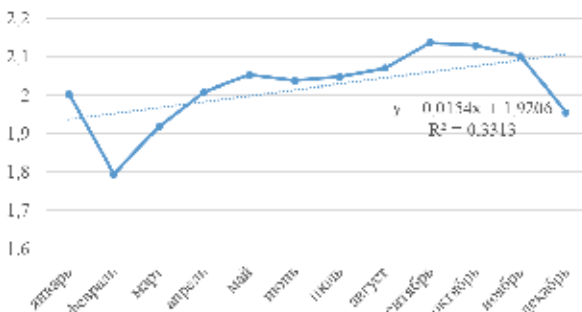


Рис. 2. Динамика изменения показателя β

Динамика изменения показателя β за каждый месяц 2019 года дает разброс величины в диапазоне от 1,794 до 2,13 (19,1%). На рисунке 2 изображен тренд изменения показателя β . Аналитическая зависимость, аппроксимирующая тренд, свидетельствует о росте этого показателя, что говорит о нарушении устойчивости техноценоза. Само значение, которое показатель принимает, также не соответствует оптимальному интервалу [3].

Произведем процедуру интервального оценивания. Для определения доверительного интервала распределения d рассчитывается среднеквадратичное отклонение t и коэффициент Стьюдента S . Ширина доверительного интервала зависит от заранее принимаемой исследователем доверительной вероятности. Листинг расчета приведен на рисунке 3.

```

Рассчитывается остаточное среднее квадратическое отклонение и
коэффициент Стьюдента:
s = 1/n * sqrt( sum( Y_i - (ln(x_i))^2 )^2 ) = 1.03    t = qt(0.99, n - 3) = 2.251

Рассчитывается ковариационная матрица для линеаризованной модели:
C = (X^T * X)^-1 * C = ( 0.125   -0.019
                       -0.019   7.306 * 10^-3 )    D = X * C    K = D * X^T

С помощью подпрограммы извлекаются диагональные элементы из
квадратной матрицы:
for i = 1, rows(C)
  W_i = V_i^T
endfor
W = W_i

Строятся доверительные границы для расчетных данных:
V = 1/sqrt(V)    d = t * S * V    Y_min = ln(x_min)
y_min2 = Y_i - d    y_min1 = Y_i + d

```

Рис. 3. Листинг для определения доверительного интервала распределения

Графически доверительный интервал может быть изображен как для линеаризованного рангового параметрического распределения, так и для гиперболического. На рисунке 4 представлен график, на котором по оси абсцисс откладывается логарифм ранга объекта, а по оси ординат – логарифм электропотребления в кВт·ч. Точками изображаются эмпирические данные электропотребления за январь. Сплошная линия – аппроксимирующая прямая с параметрами β и W_1 , определенными выше. Тонкие линии отображают верхнюю и нижнюю границу доверительного интервала.

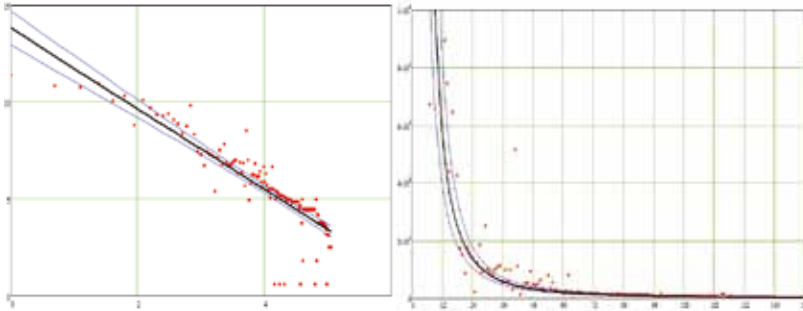


Рис. 4. Доверительный интервал для линейризованного и гиперболического рангового параметрического распределения техноценоза

Анализируя полученные графики можно заметить, как существенные отклонения от доверительного интервала, так и незначительные. В первую очередь стоит отметить точки, имеющие 0 электропотребление. Оно может объясняться ошибкой ввода или неверной подачей данных, ремонтными работами. В первом случае электропотребление таких объектов может быть отражено в следующем месяце, однако это приведет к завышенному для ранга объекта параметру электропотребления.

В результате анализа электропотребления объектов техноценоза за январь выявлено, что только 45 объектов потребляют ресурс «нормально». 84 объекта потребляет электроэнергию в аномально большом количестве, и 27 – в аномально малом.

В результате интервального оценивания электропотребления в течение 12 месяцев 2019 года, было выявлено, что от 42 до 63 % всех объектов потребляли электроэнергию в аномально большом количестве. Процент объектов, потребляющих электроэнергию в объемах, соответствующих своему рангу, составил от 17 до 40 % (в октябре и декабре соответственно). Аномально малое потребление электроэнергии характерно для 14 – 19 % объектов (в феврале и октябре соответственно). Динамика распределения объектов по этим категориям по месяцам представлена на рисунке 5.

Таким образом, выявление объектов с аномальным электропотреблением осуществляется путем анализа расположения точек относительно кривой, аппроксимирующей Н-распределение. Аномальные значения электропотребления могут быть объяснены следующими причинами:

- неграмотный подход к формированию предприятием электрического баланса;

- несвоевременная подача данных об электропотреблении, что приводит в одном временном интервале к аномально низким значениям электропотребления, а в последующем – к аномально высоким;
- ремонтные и аварийные выводы из работы оборудования, что приводит к аномальному снижению потребления электроэнергии одним объектом и росту электропотребления у других объектов.

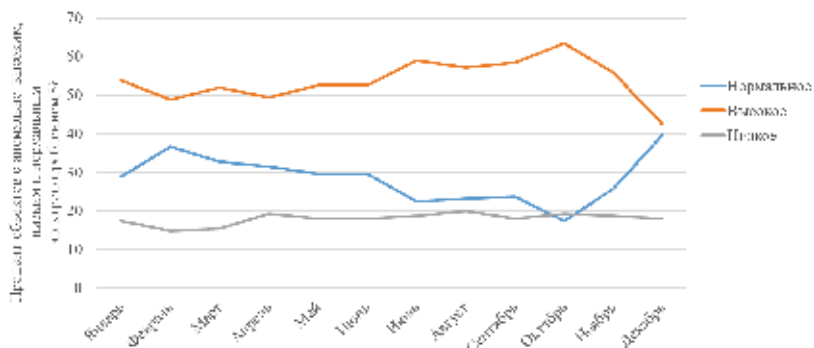


Рис. 5. Динамика изменения количества объектов, потребляющих ресурс в нормальном объеме, аномально высоком и низком

Для всех объектов, имеющих аномальное потребление необходимо проведение аудита с последующей структурной перестройкой техноценоза, которая реализуется путем процедур оптимизации.

Литература

1. Гнатюк В.И. Оптимальное управление электропотреблением регионального электротехнического комплекса (техноценоза). М.: ИНП РАН, 2006. 147 с.
2. Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса на инерционном этапе развития. М.: ИНП РАН, 2009. 93 с.
3. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Методика определения оптимальных норм электропотребления // Прикладная информатика, 2014. № 3 (51). С. 68-78.
4. Сизганова Е.Ю., Чупак Т.М., Южанников А.Ю. Техноценозы в электротехнических системах и комплексах // Сибирский федеральный университет, 2012. 272 с.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК ОТ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКИ

Мухарьямов Булат Мансурович, Шириев Равиль Рафисович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
muharlyamov_bulat@mail.ru, shrr@list.ru

В статье рассматривается компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей с гармоническими искажениями напряжения и тока, возникающими в результате внутренней и внешней нелинейной нагрузки относительно точки подключения, разделяемой потребителями. В статье представлены зависимости коэффициента перегрузки конденсатора от необходимой для компенсации реактивной мощности. Эти соотношения могут помочь определить, в какой области емкости конденсаторных батарей обеспечивается ее работа без перегрузки. В статье также представлен алгоритм выбора параметров конденсаторных батарей, который позволяет минимизировать перегрузку конденсаторов и увеличить коэффициент мощности сети

Ключевые слова: реактивная мощность, конденсаторы, активные фильтры, высшие гармоники, нелинейная нагрузка, коэффициент мощности

COMPENSATION OF THE REACTIVE POWER TAKING INTO ACCOUNT THE GENERATION OF HIGH HARMONICS FROM THE INTERNAL AND EXTERNAL NONLINEAR LOAD

Mukharlyamov Bulat Mansurovich, Shiriev Ravil Rafisovich

The article deals with the compensation of reactive power using capacitor banks with voltage and current harmonic distortions resulting from internal and external nonlinear load relative to the connection point shared by consumers. The article presents the dependence of the overload factor of the capacitor on the reactive power required for compensation. These ratios can help determine in which area of the capacitor bank's capacity it is ensured to operate without overload. The article also presents an algorithm for selecting the parameters of capacitor banks, which allows you to minimize the overload of capacitors and increase the power factor of the network

Keywords: reactive power, capacitors, active filters, higher harmonics, non-linear load, power factor

Термин «реактивная мощность» используется при расчете сетей с линейной электрической нагрузкой. Однако в электротехнических комплексах современных предприятий большая часть нагрузок представлена нелинейными приемниками. Именно поэтому во многих странах соответствующее законодательство не устанавливает тарифы, скидки и дополнительные сборы для оплаты реактивной мощности, оставляя это

на усмотрение договоров поставки электроэнергии между сторонами [2]. Плата за потребленную реактивную мощность может достигать 10 % от стоимости активной мощности. При наличии высших гармоник в сети на предприятии устройства компенсации реактивной мощности работают хуже. Конденсаторы в таких блоках в сочетании с индуктивностью нагрузки могут образовывать резонансные петли. Это может привести к более сильному току емкости, что приведет к раннему повреждению. Перегрузки, возникающие при резонансе на элементах конденсаторной установки и на нагрузке, могут привести к нарушению изоляции. Это может произойти из-за того, что реактивное сопротивление конденсатора в блоках компенсации реактивной мощности ослабевает на высоких частотах напряжения. Следовательно, если напряжение питающей сети содержит высокие гармоники, реактивное сопротивление конденсатора на этих гармониках будет намного хуже, чем при 50 Гц. Другими словами, даже низкое напряжение высоких гармоник приводит к значительным токам, повреждающим конденсаторы в устройствах компенсации реактивной мощности. Бывали ситуации, когда на передовых предприятиях, использующих линии электропередачи 6-10 кВ, конденсаторные батареи находились в резонансе токов (или близком к нему) на частоте одной из этих гармоник, что приводило к опасной перегрузке по току. Одним из последствий стали более дорогие счета за потребленную активную и реактивную мощность. Уменьшение влияния высоких гармоник на работу конденсаторной батареи может быть возможна с помощью некоторых специальных средств, которые включают, прежде всего, устройства компенсации: фильтры и активные фильтры [3]. Каждому порядку гармоник требуется собственный фильтр мощности в устройстве компенсации фильтра, подходящем для этой конкретной гармоники. Обычно устанавливается несколько фильтров, что удорожает оборудование. Активные фильтры устанавливаются на высоконагруженных полупроводниковых системах, что также требует значительных дополнительных затрат. Таким образом, с учетом финансового критерия, который является критически важным для нормального функционирования промышленного предприятия, исследования сосредоточены на сокращении перегрузки конденсаторной батареи высшими гармониками наиболее экономичным способом. Ставилась задача найти для конкретного спектра гармоник в напряжении питающей сети возможность выбора такой мощности конденсаторной батареи, которая бы исключила ее перегрузку по току, с коэффициентом мощности, отвечающим требованиям системы [6].

В соответствии с техническими условиями для конденсаторных батарей в большинстве стран Европы, а также в России, коэффициент перегрузки конденсаторных батарей ограничен значением 1,3. Это значение содержит номинальное значение тока, которое состоит из токов - гармоник с порядковым номером до сороковой.

Высокие значения коэффициента перегрузки являются следствием резонанса на различных гармониках. Стоит отметить, что уменьшение сопротивления в резонансной системе на разных гармониках становится больше, и, следовательно, увеличивается ток, протекающий через конденсаторную батарею на этих гармониках. Кроме того, исходя из полученного семейства характеристик, очевидно, что уменьшение силовой нагрузки в электрической сети и соответствующее изменение мощности конденсаторных батарей увеличивает перегрузку конденсаторной батареи по току. На основании этого можно определить, в какой области емкости конденсаторных батарей обеспечивается ее работа без перегрузок. Это верно как для нерегулируемых, так и для регулируемых конденсаторных батарей [5]. В последнем случае можно выбрать диапазон замены конденсаторной батареи, в котором не возникает перегрузки из-за токов высоких гармоник. Когда напряжение питающей сети является источником высоких гармоник нагрузка на предприятии линейная.

Коэффициент перегрузки конденсаторной батареи определяется мощностью нагрузки, сопротивлением системы и значением скомпенсированной реактивной мощности.

Режим работы может быть достигнут без перегрузки конденсаторов при определенном сочетании параметров нагрузки, сети и конденсаторных батарей. Однако увеличение сопротивления системы при наличии искажений питающей сети приводит к снижению перегрузки конденсаторных батарей токами высоких гармоник. Это означает, что, если питающая сеть является источником высоких гармоник, необходимо увеличить сопротивление системы, чтобы уменьшить перегрузку конденсаторной батареи, если источником высоких гармоник является нагрузка предприятия, необходимо уменьшить сопротивление системы для уменьшения перегрузки конденсаторной батареи. Очевидно, что изменение сопротивления системы должно соответствовать электромагнитной совместимости системы питания при максимально возможном коэффициенте мощности. Таким образом, за счет подбора мощности конденсаторных батарей в зависимости от параметров электрической сети, нагрузочной способности и состава тока и напряжения достигается режим

работы конденсаторной батареи без перегрузки. Параметры устройства компенсации, обеспечивающие режим работы конденсаторной батареи без перегрузок, необходимо регулировать на коэффициент емкости сети, так как не все значения мощности конденсаторной батареи обеспечивают эффективную компенсацию реактивной мощности в сеть предприятия. Таким образом, можно выделить алгоритм выбора мощности конденсаторной батареи, который позволяет эффективно снизить потребление реактивной мощности и гарантирует отсутствие перегрузок в сети, вызванных высокими гармониками. Во-первых, должна быть определена обобщенная диаграмма замены сети, на основе которой будут рассчитываться коэффициенты перегрузки устройства компенсации. Важно определить диапазон изменения параметра замещения сети, в частности, потребляемой мощности нагрузки, сопротивления системы и мощности компенсирующего устройства, а также проанализировать источник высоких гармоник. Следующим этапом будет построение многофакторной зависимости коэффициента перегрузки конденсаторной батареи от выбранных переменных. При наличии значений мощности конденсаторной батареи, удерживающих перегрузку конденсатора в допустимом диапазоне, указанная многофакторная зависимость интерполируется. Следующие значения переменных должны быть выбраны из трехмерного массива данных для выполнения двух условий: коэффициент мощности сети должен быть максимальным, а коэффициент перегрузки конденсаторной батареи не должен превышать допустимое значение 1,3 [7].

На основании проведенных исследований разработан алгоритм выбора параметров устройства компенсации реактивной мощности для ситуаций, когда присутствуют высшие гармоники. Алгоритм позволяет эксплуатировать конденсаторные батареи без перегрузки токами высоких гармоник, с максимальным коэффициентом мощности сети. Снижение перегрузки конденсаторных батарей по току осуществляется изменением устройств компенсации реактивной мощности в зависимости от сопротивления системы и параметров линейной электрической нагрузки. При этом сопротивление системы следует изменять в зависимости от расположения источника высоких гармоник относительно общей точки подключения потребителей. Если высокие гармоники возникают из-за внешней нелинейной нагрузки, для снижения перегрузки конденсаторных батарей необходимо увеличить сопротивление системы; если высокие гармоники возникают из-за внутренней нелинейной нагрузки, для уменьшения перегрузки конденсаторных батарей необходимо понизить

сопротивление системы. Если невозможно гарантировать нормальную работу конденсаторных батарей вышеупомянутыми способами, следует использовать дополнительные средства, известные в данной области техники, такие как активные фильтры и фильтрующие компенсирующие устройства.

Литература

1. Борисовский А.П., Литвинов В.В. Современные средства компенсации реактивной мощности // Молодой ученый, 2019. № 26 (264). С. 61–63. Доступно по: URL: <https://moluch.ru/archive/264/61163/>. Сылкаактивна 18.01.2021.

2. Charafeddine K., Tsyruk S. Automatic Sun-Tracking System. Proceedings. 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. 9208086. Pp. 19–195.

3. Вильданов Р.Г., Ионцева О.А., Исхаков Р.Р. и др. Снижение потерь электроэнергии с помощью компенсации реактивной мощности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 45–49.

4. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов. М.: ЭНАС, 2009. 456 с.

5. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В. Исследование функциональных возможностей систем релейной защиты и автоматики для применения их в интеллектуальных энергосистемах с активно-адаптивной сетью // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы IV Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. Редколлегия: Э.Ю. Абдуллазянов [и др.]. 2018. С. 138–140.

6. Иванов И.Ю. Совершенствование дифференциальной защиты линий электропередачи напряжением 110-220 кВ // Проблемы Энергетики, 2012. № 1-2. С. 152–160.

7. Тукшаитов Р.Х., Шириев Р.Р. Определение уровня нелинейных искажений входного тока разных типов нагрузок на основе измерения коэффициента мощности и его множителя $\cos\varphi$ // Практическая силовая электроника, 2018, № 4 (72). С. 30–36.

ОЦЕНКА СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОВОДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Павличенко Илья Александрович, Белицын Игорь Владимирович,
Пестов Матвей Игоревич
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова», г. Барнаул, Россия
pavlichenko22rus@gmial.com, b_i_w@mail.ru, mpestov98@gmail.com

В работе проведен анализ ПНП, приведены примеры их уникальных свойств. Предложен метод оценки строительства линии электропередачи с использованием ПНП, учитывающий экономический эффект не только от сокращения количества опор, но и увеличения пропускной способности линии.

Ключевые слова: провода нового поколения, габарит, опоры, пролет.

ASSESSMENT OF THE CONSTRUCTION OF A TRANSMISSION LINE USING A NEW GENERATION WIRE

Pavlichenko Ilya Alexandrovich, Belitsyn Igor Vladimirovich, Pestov Matvey Igorevich

The paper analyzes PNP, gives examples of their unique properties. A method for assessing the construction of a power transmission line using PNP is proposed, taking into account the economic effect not only from reducing the number of supports, but also from increasing the transmission capacity of the line.

Keywords: new generation wires, dimensions, supports, span.

На протяжении 30 лет в области строительства линий электропередач (ЛЭП) не происходит никаких изменений. Почти все крупные проекты строятся по стандартам 40 летней давности. Хотя за это время можно найти огромное множество новшеств в этой области. Примером этому служат компактные линии, опоры из композитных материалов, провода нового поколения и многое другое (ПНП). Стоит отметить, что в 2019 году ПАО «ФСК ЕЭС» ввели в действие стандарта организации «Указания по проектированию ВЛ 220 кВ и выше с изолированным проводами нового поколения» и стандарты по проектированию опор под ПНП [1,2,3]. Но в данных руководящих документах даны лишь общие сведения по проводам.

Теперь, учитывая вышесказанное, возникает возможность и проблема при использовании ПНП. Возможность заключается в использовании проводов различных марок при проектировании, потому что теперь существуют стандарты. Проблема заключается в отсутствии каких-либо

новых методик по технико-экономическому обоснованию выбора той или иной марки провода. На сегодняшний день в [1] предложено 14 ПНП различных марок. Сложность в выборе заключается в огромной различии механических и электрических свойствах проводов. С одной стороны, согласно [1] следует выделить две группы ПНП. В первой группе будут компактированные провода, позволяющие уменьшить количество опор. Во второй группе будут высокотемпературные провода, позволяющие увеличить пропускную способность линии за счет повышения длительно допустимого тока. Достигается это за счет увеличения рабочей температуры провода до 180°C или 210 °C. С другой стороны это деление условно, так как вне зависимости от группы, к которой их относят, у любых ПНП механические и электрические свойства выше, чем у проводов марки АС равного сечения. При этом у каждой марки ПНП есть уникальные особенности, которые сложно оценить.

Подтверждением этих слов служат следующие примеры. Провод марки АСТ – высокотемпературный, с допустимой рабочей температурой 210°C конструктивно абсолютно идентичен проводам марки АС и используется идентичная (аналогичная) линейная арматура [4]. Это в свою очередь упрощает его монтаж, так как у персонала имеется многолетний опыт работы с проводами марки АС. Другим примером послужит проблема гололедообразования на проводах. Такая проблема у проводов марки АС является существенной. При налипании снега с одной стороны провода, начинается его вращение с некоторой угловой скоростью. Вследствие этого происходит равномерное обледенение, которое может привести к обрыву провода. Такая проблема отсутствует у провода марки АЭРО-Z вследствие его конструктивных особенностей [5]. Он обладает не только повышенной пропускной способностью, но и большей крутильной жесткостью. Поэтому гололедообразование происходит на нем неравномерно. Это приводит к отслоению части снега под собственным весом без дополнительных приспособлений и механизмов. Стоит отметить преимущество, которое сложно оценить, относящееся ко всем высокотемпературным проводам – потенциальная возможность передачи огромного перетока мощности. В данном случае это становится неким аналогом конкурентного отбора мощности, как у генераторов.

На основе изложенного выше и приведенных примеров следует вывод: необходимость переработки критериев оценки при выборе провода. При этом необходимо производить два технико-экономических сравнения: при равном значении тока или сечении провода.

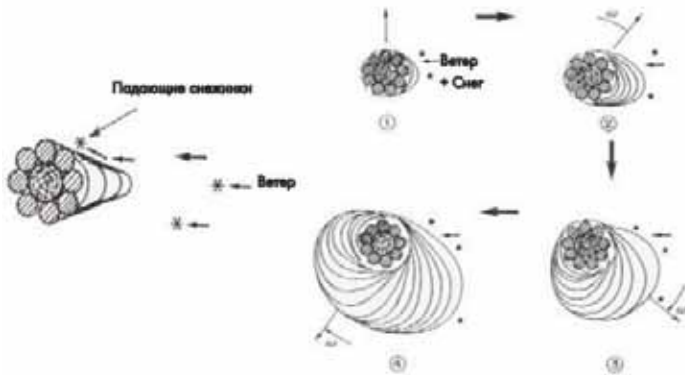


Рис. 1. Схема образование гололеда на проводе марки АС

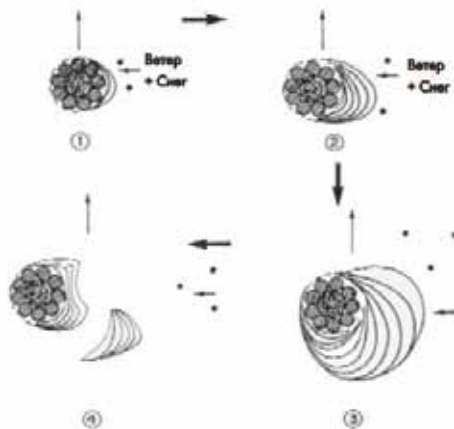


Рис. 2. Схема образования гололеда на проводе марки АЭРО-Z

В первом случае будут рассматриваться провода различных сечений, поэтому будет отличаться их механические свойства, опираясь на которые, производится расчет габаритного пролета. Другими словами будет различное количество опор в анкерном пролете. Во втором случае при равных сечениях будет отличаться не только габаритный пролет, но и пропускная способность линии. Это значит, что такая линия потенциально может быстрее окупиться. Также при проектировании линии с таким условием, возможно заложить растущий переток мощности вследствие ежегодного увеличения электропотребления.

В данной работе был предложен способ оценки согласно второму случаю. Была рассмотрена работа [6], в которой при оценке ПНП не была учтена повышенная пропускная способность проводов различных марок при равных сечениях. Для дальнейшего сравнения обозначим условия. Рельеф идеально ровный. Расстояние между промежуточными опорами равно габаритному пролету. При сравнении примем значение стрелы провеса между различными вариантами равными. Значения удельной действующей нагрузки от собственной массы провода и механическое напряжение при воздействии на провод низшей температуры рассчитывается согласно [7] и зависят от марки провода. Тогда длина габаритного пролета будет определяться согласно формуле (1).

$$l_{\text{аб}} = \sqrt{\frac{8 \cdot f_{\text{аб}} \cdot \sigma}{\gamma_n}} \quad (1)$$

где $f_{\text{аб}}$ – стрела провеса, σ – механическое напряжение при воздействии на провод низшей температуры, γ_n – удельная действующая нагрузка от собственной массы провода.

Количество промежуточных опор на анкерном пролете определяется по формуле:

$$k = \frac{L}{l_{\text{аб}}} - 1 \quad (2)$$

где L – длина анкерного пролета, м.

Мощность, передаваемая по линии:

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

Для первичной оценки технико-экономических показателей различных вариантов доход от транспортировки электроэнергии по разрабатываемой линии будет рассчитан в упрощенной форме:

$$K_{\Delta} = P \cdot (1 + \alpha) \cdot T_{\text{тариф}} \cdot K_{\text{исп}} \cdot 8760 \quad (4)$$

где α – ежегодное увеличение потребления электроэнергии, $T_{\text{тариф}}$ – ставка тарифа на услуги по передаче электроэнергии, руб/(МВт·ч), $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования ЛЭП.

Затраты на материалы, монтаж и транспортировку:

$$K_3 = K_{mat} + K_{мон} + K_{тр} \quad (5)$$

Затраты на материал складываются из затрат на опоры, провод и арматуру:

$$K_{mat} = 3 \cdot K_{тр} \cdot n + K_{оп} + K_{ар} \quad (6)$$

Теперь можно определить срок окупаемости, как отношение затрат на сооружения линии и получаемого дохода от её эксплуатации с учетом использования линии и роста потребления электроэнергии.

$$K_{окуп} = \frac{K_3}{K_{\delta}} \quad (7)$$

В предложенном расчете из-за сложности оценки не были учтены в полной мере уникальные возможности ПНП различных марок. Но несмотря на это данный расчет возможно использовать для первичной экономической оценки при проектировании новых линий электропередач с использованием провода нового поколения.

Литература

1. СТО 56947007-29.060.50.268-2019. Указания по проектированию ВЛ 220 кВ и выше с неизолированными проводами нового поколения : стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» : утвержден и введен в действие Приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 01.07.2019 № 200 : введен впервые : дата введения 01.07.2019 / разработан АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ООО «Интер ПАО – Инжиниринг». Доступно по: URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.060.50.268-2019.pdf. Ссылка активна на 03.12.2020.

2. СТО 56947007-29.240.55.255-2018. Стальные решетчатые опоры новой унификации ВЛ 220 кВ. Указания по применению опор новой унификации при проектировании ВЛ 220 кВ : стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» от 25.07.2018 № 282 : введен впервые : дата введения 25.07.2018 / разработан филиалом АО «НТЦ ФСК ЕЭС» СибНИИЭ. Доступно по: URL: http://www.tempfsk.host.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.55.255-2018.pdf. Ссылка активна на 03.12.2020.

3. СТО 56947007-29.240.55.255-2019. Стальные решетчатые опоры новой унификации ВЛ 500 кВ. Указания по применению опор новой

унификации при проектировании ВЛ 500 кВ : стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» от 11.12.2019 № 439 : введен впервые : дата введения 11.12.2019 / разработан филиалом АО «НТЦ ФСК ЕЭС» - СибНИИЭ. Доступно по: URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.55.273-2019.pdf. Ссылка активна на 03.12.2020.

4. Ункомтех : официальный сайт. Москва. Доступно по: URL: <https://uncomtech.ru/>. Ссылка активна на 07.12.2020.

5. NEXANS : официальный сайт. Москва. Доступно по: URL : https://www.nexans.ru/eservice/Russia-ru_RU/navigate_-39/_html. Ссылка активна на 07.12.2020.

6. Васюра Ю.Ф., Глазырин М.А., Плешкова Т.А. Условие экономической целесообразности сооружения линий электропередачи с применением провода с улучшенными характеристиками // Аллея науки, 2017. № 15. С. 647–650. Доступно по:URL: https://alley-science.ru/domains_data/files/November2-17/USLOVIE%20EKONOMICHESKOY%20CELESOOBRAZNOSTI%20SOORUZHENIYa%20LINIY%20ELEKTROPEREDACHi%20S%20PRIMENENIEM%20PROVODOV%20S%20ULUCHShENIYM%20HARAKTERISTIKAMI.pdf. Ссылка активна на 10.12.2020.

7. Правила устройства электроустановок: 7-ое издание: утвержден приказом Минэнерго РФ 8июля 2002 г. № 204 : дата введения 01.01.2003. Доступно по: URL: <https://en-res.ru/wp-content/uploads/2020/02/pue.pdf>. Ссылка активна на 10.12.2020.

УДК 621.311

КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ОДНОЦЕПНОЙ ЛЭП

Панова Евгения Александровна
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия
ea.panova@magtu.ru

Одним из наименее затратных способов определения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях электропередачи является дистанционное, основанное на результатах предварительно выполненных расчетов параметров режима однофазного короткого замыкания. Для точного дистанционного ОМП важно определить поперечную емкостную проводимость ЛЭП, что наиболее сложно в сетях с эффективно заземленной нейтралью. Данная работа посвящена математическому моделированию электростатического взаимодействия проводящих элементов одноцепной ЛЭП различной конфигурации в задаче расчета режима однофазного короткого замыкания с целью дистанционного ОМП.

Ключевые слова: линия электропередачи, емкостная проводимость, определение места повреждения, однофазные КЗ, математическое моделирование, фазные координаты.

COMBINED EQUIVALENT CIRCUIT OF SINGLE-CIRCUIT LINE

Panova Evgeniya Aleksandrovna

One of the least costly methods for fault location on overhead power lines is remote, based on the results of preliminary calculations of the parameters of the single-phase short circuit mode. For accurate remote fault location, it is important to determine the transverse capacitive conductivity of a power transmission line, which is most difficult in networks with an effectively grounded neutral. This paper is devoted to the mathematical modeling of the electrostatic interaction of conducting elements of a single-circuit power transmission line of various configurations in the problem of calculating the mode of a single-phase short circuit for the purpose of remote fault location.

Keywords: power line, capacitive conductivity, fault location, single-phase short circuit, mathematical modeling, phase coordinates

Для моделирования электростатического взаимодействия принято использовать метод зеркальных изображений. Согласно этому методу симметрично каждому проводящему элементу ЛЭП (фазный проводник, грозозащитный трос) под землей пролегают их зеркальные изображения. Руководящие указания по расчету токов короткого для релейной защиты [2] дают методику определения удельной поперечной емкости одноцепных ЛЭП в симметричных составляющих. Однако такой подход позволяет учесть только среднегеометрическое расстояние между проводниками и их зеркальными изображениями. Для точного дистанционного определения места повреждения необходимо учитывать схему подвеса проводов на опоре. Особенно это актуально в промышленных системах электропитания, где одноцепные ЛЭП могут быть подвешены на двухцепных опорах, т.е. на одной опоре расположены не две цепи одной линии, а две ЛЭП (рис. 1).

Руководящие указания дают следующие выражения для определения собственных (α_c) и взаимных ($\alpha_{вз}$) потенциальных коэффициентов проводов ЛЭП:

$$\begin{cases} \alpha_c = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{1}{\rho_n} \sqrt[3]{S_{AA} \cdot S_{BB} \cdot S_{CC}}; \\ \alpha_{вз} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \sqrt[3]{\frac{S_{AA} \cdot S_{BB} \cdot S_{CC}}{D_{AB} \cdot D_{AC} \cdot D_{BC}}}. \end{cases} \quad (1)$$

Для определения емкости ЛЭП в фазных координатах необходимо определить потенциальные коэффициенты отдельно для каждой пары

проводников и их зеркальных изображений. Так собственный потенциальный коэффициент для каждой фазы

$$\alpha_c = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{1}{\rho_n} S_{ii}, \quad (2)$$

где ρ_n – действительный радиус провода фазы.

Взаимные потенциальные коэффициенты проводников соседних фаз:

$$\alpha_{вз} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{S_{ij}}{D_{ij}}. \quad (3)$$

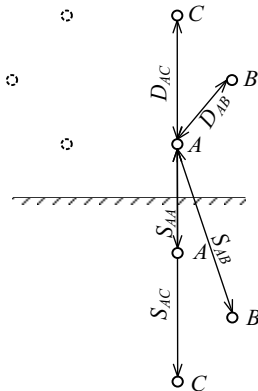


Рис. 1. К определению емкости одноцепной ЛЭП на двухцепной опоре

Для получения математической модели ЛЭП в фазных координатах необходимо составить матрицу потенциальных коэффициентов:

$$\alpha = \begin{pmatrix} \alpha_A & \alpha_{AB} & \alpha_{AC} \\ \alpha_{BA} & \alpha_B & \alpha_{BC} \\ \alpha_{CA} & \alpha_{CB} & \alpha_C \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Входящие в состав матрицы (4) потенциальные коэффициенты будут иметь следующий вид:

$$\alpha_A = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{1}{\rho_n} S_{AA};$$

$$\alpha_B = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{1}{\rho_n} S_{BB};$$

$$\alpha_C = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{1}{\rho_n} S_{CC};$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{S_{AB}}{D_{AB}};$$

$$\alpha_{AC} = \alpha_{CA} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{S_{AC}}{D_{AC}};$$

$$\alpha_{BC} = \alpha_{CB} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \lg \frac{S_{BC}}{D_{BC}}.$$

Таким образом, математическая модель ЛЭП будет представлять собой матрицу размерностью 3×3 . В условиях систем электроснабжения промышленных предприятий, представленных уровнями напряжения от 0,4 до 500 кВ, имеющих как разомкнутые, так и замкнутые участки сети, собственные источники электрической энергии и несколько узлов примыкания к энергосистеме представление всей схемы замещения в фазных координатах нецелесообразно, так как это значительно увеличит время счета. Поэтому предлагается моделировать только воздушные линии электропередачи, для которых необходимо построить таблицы ОМП в фазных координатах, а остальную сеть – с помощью симметричных составляющих.

Для этого необходимо выполнить следующее преобразование:

$$\alpha_s = s^{-1} \alpha s. \quad (5)$$

В выражении (5) матрица s представляет собой:

$$s = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где a – фазный множитель [3].

Подставив (6) и (4) в (5) получим потенциальные коэффициенты в симметричных составляющих:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{1}{3} (\alpha_{AA} + \alpha_{BB} + \alpha_{CC} - (\alpha_{AB} + \alpha_{BC} + \alpha_{CA}));$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{3}(\alpha_{AA} + \alpha_{BB} + \alpha_{CC} + 2(\alpha_{AB} + \alpha_{BC} + \alpha_{CA})).$$

Зная потенциальные коэффициенты можно определить поперечную емкость ЛЭП:

$$C = \frac{1}{\alpha}.$$

Полученные выражения позволяют составить гибридную схему замещения электрической сети и выполнить расчет режима несимметричного короткого замыкания с использованием методов симметричных составляющих и последовательного эквивалентирования [1].

Литература

1. Панова Е.А. Повышение режимной надежности систем электрообеспечения промышленных предприятий в условиях аварийной несимметрии : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2012. – 205 с.

2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. М.: Энергия, 1979. – 152 с.

3. Щедрин Н.Н. Токи короткого замыкания высоковольтных систем. Методы вычисления, Ленинград; Москва : ОНТИ Энергоиздат, 1935. – 554 с.

УДК 621.3.052

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ РЕНОВАЦИИ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ

Петров Александр Сергеевич, Кошарная Юлия Васильевна
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
petrovaserg@mpei.ru, KosharnyaYV@mpei.ru

В статье представлены методы расчета электрических нагрузок по укрупненным показателям для новых объектов жилой, социальной и коммерческой инфраструктуры при комплексной реновации жилых районов, а также современные требования к электрическому подключению новых домов. На примере реального расчета показано,

насколько может различаться итоговая проектная нагрузка жилого района до и после реновации, выявлены трудности при выполнении расчета, вызванные отсутствием официально утвержденных нормативных показателей для некоторых типов зданий.

Ключевые слова: укрупненные нормы электропотребления, удельные электрические нагрузки, расчет нагрузок, плотность электрических нагрузок, реновация жилых районов, схемы электроснабжения

PROBLEMS OF ELECTRIC LOADS CALCULATION IN COMPLEX RENOVATION OF RESIDENTIAL AREAS

Petrov Alexander Sergeevich, Kosharnaya Yulia Vasilievna

The article presents methods for calculating electrical loads based on aggregated indicators for new objects of residential, social and commercial infrastructure during the complex renovation of residential areas, as well as modern requirements for electrical connecting new houses. Using the example of a real calculation, it is shown how the final design load of a residential area before and after renovation can differ; difficulties in performing the calculation caused by the lack of officially approved standard indicators for some types of buildings were identified.

Keywords: integrated electrical consumption rates, specific electrical loads, calculation of loads, electrical load density, renovation of residential areas, electrical supply schemes

В современном мире все чаще наблюдаются тенденции сверхурбанизации. Население покидает деревни и малые города и переселяется в большие города. Как следствие, растет потребность в новом жилье, которое будет обеспечивать комфортное проживание большого количества людей. Большая часть жилищного фонда России представляет собой здания, построенные еще в 60-70 х годах прошлого века. Понятно, что в те времена проектирование застройки не предполагало покрытие всех современных потребностей населения. К тому же, сами здания уже отслужили свой срок, и их износ приблизился к критическому значению. Назрела необходимость перестройки городов под новые условия. Это реализуется через проекты комплексной реновации целых жилых районов, которые подразумевают под собой снос старых домов и строительство на высвободившейся территории новых домов и сопутствующих объектов социальной и коммерческой инфраструктуры. В процессе проектирования при определении расчетных электрических нагрузок отдельных новых объектов и района в целом должен быть учтен ряд условий.

Современные домакратно больше по площади старых домов за счет увеличения этажности. В то же время и сами районы подвергаются комплексной перестройке. Строятся новые школы, детские сады, торговые

центры и другие места времяпровождения горожан. В результате, итоговое энергопотребление района значительно повышается по сравнению с тем, что было раньше. Значит, нельзя просто использовать старые, уже существующие, линии электросвязи: они подлежат обновлению, учитывая увеличению расчетных нагрузок. Также необходимо применять новые конфигурации схем электроснабжения. Далее рассмотрены важные моменты подключения новых домов к электрической сети.

В современных проектах реновации жилых районов при выборе вариантов схем электроснабжения отказываются от магистральной схемы и переходят к радиальной схеме подключения домов. Данное изменение связано, в первую очередь, с надежностью. При магистральной схеме подключения отключение головного дома приводит к полному отключению всех последующих домов. Сейчас каждый новый дом принято подключать индивидуально. На практике часто случается так, что под первую волну сноса попадает головной дом, и последующие дома остаются без подключения. В этом случае допускается подключение оставшихся домов временно сооружаемой линией к существующим линиям электроснабжения. Вторым негативным фактором магистральной схемы является сложность поддержания требуемого нормативного уровня напряжения у конечного дома.

Новые дома не принято подключать уже существующей кабельной линией. Для них должна быть сооружена новая линия. Делается это по причине того, что, помимо наличия физического износа, старые линии были рассчитаны на гораздо меньшую нагрузку, и они не выдержат подключение нового дома. Нагрузки старых домов рассчитывались при учете гораздо меньшего количества электроприемников и более низкой плотности электрических нагрузок. Во всех них использовались газовые плиты. В современных квартирах количество электроприемников намного больше, чем в квартирах второй половины 20 века. И номинальные мощности современных бытовых электроприемников значительно возросли. Во многих современных квартирах появились такие энергоёмкие электроприемники, как стиральные и посудомоечные машины, микроволновки, варочные панели и духовые шкафы, пылесосы, водонагреватели, кондиционеры и т.д. [1].

Современный дом больше, чем просто жилой дом. Он оснащается дополнительным электрооборудованием: лифтами, насосами подачи воды, системами вентиляции, индивидуальными тепловыми пунктами. Кроме

того, новые дома нередко имеют у себя на первом этаже нежилые помещения без конкретного функционального назначения (БКФН), где могут располагаться магазины, офисы и т.п.; для обеспечения парковочных мест сооружаются подземные гаражи. Все это увеличивает итоговую электрическую нагрузку дома и несколько затрудняет ее расчет. В расчетах мощности, выделяемой на дом, применяются удельные нагрузки электроприемников квартир из [2] и [3]. Важным моментом является отсутствие в расчетах учета лифтов. Во-первых, у проектной организации отсутствуют данные по мощности лифтовых установок. Во-вторых, расчет ведётся по укрупненным показателям, и вклад лифтовых установок будет минимален. Для расчета мощности, выделяемой на квартирный фонд дома, применяется следующая формула:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n ,$$

где n – количество квартир в доме, $P_{\text{кв.уд}}$ – удельные нагрузки электроприемников квартир.

Однако для расчета нагрузок подземных гаражей и БКФН аналогичных утвержденных нормативных показателей нет. БКФН могут быть использованы под различные цели, поэтому сложно сказать, какой тип нагрузки будет доминирующей. Например, это может быть холодильное оборудование магазинов, офисное оборудование и т.п. В примере расчета, приведенном ниже, проектировщик принял удельную нагрузку для БКФН $P_{\text{БКФН,уд}}$, равную $0,2 \text{ кВт/м}^2$.

В гаражах основную нагрузку обычно составляет только освещение, и можно было бы принять $0,01-0,015 \text{ кВт/м}^2$ по [2], но это не является универсальным методом. С развитием электромобилей все чаще проектами предусматриваются портативные зарядки для них, которые должны быть установлены в гаражах, и их влияние на итоговое потребление сложно оценить. Все это определяет значительные расхождения проектной мощности новых домов с действительной нагрузкой домов после их ввода в эксплуатацию, а также кратную разницу по сравнению с нагрузками старых домов, подлежащих реновации.

Ниже приведен реальный пример расчета нагрузок для вновь проектируемого района, который насчитывал больше ста сносимых домов и восемьдесят новых проектируемых зданий. В таблице 1 содержится выдержка из данного расчета для пяти домов.

Таблица 1

Пример расчета нагрузок

| № п/п | n , шт. | $P_{\text{кв.уд.}}$, кВт/кв. | $P_{\text{кв.расч.}}$, кВт | $S_{\text{БКФН}}$, м ² | $P_{\text{БКФН.расч.}}$, кВт | $S_{\text{Гар}}$, м ² | $P_{\text{Гар.расч.}}$, кВт |
|--------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 342 | 1,29 | 441,18 | 1193 | 238,6 | 3739,0 | 39,26 |
| 2 | 189 | 1,37 | 258,93 | 568 | 113,6 | 5264,4 | 55,28 |
| 3 | 450 | 0,86 | 387,00 | 1248 | 249,6 | 3509,6 | 36,85 |
| 4 | 150 | 1,43 | 214,50 | 561 | 112,2 | 2990,0 | 31,40 |
| 5 | 225 | 1,35 | 303,75 | 921 | 184,2 | 3856,0 | 40,49 |
| Итого: | | | 1605,36 | | 898,2 | | 203,28 |
| ВСЕГО: | | | 2706,84 | | | | |

В таблице для расчета приняты следующие показатели:

n – общее количество квартир в доме, шт.;

$P_{\text{кв.уд.}}$ – удельная электрическая мощность на 1 квартиру, кВт/кв.;

$P_{\text{кв.расч.}}$ – расчетная электрическая мощность квартир всего дома, кВт;

$S_{\text{БКФН}}$ – общая площадь помещений БКФН, м²;

$P_{\text{БКФН.расч.}}$ – расчетная мощность помещений БКФН, кВт;

$S_{\text{Гар}}$ – общая площадь гаражей, м²;

$P_{\text{Гар.расч.}}$ – расчетная мощность гаражей, кВт.

Указанные в расчете 5 домов были построены на месте 11 снесенных домов, общая нагрузка которых составляла 876 кВт. Несложно заметить, что нагрузка новых домов увеличилась в 3 раза: с 876 кВт до 2706,84 кВт.

Основную сложность в расчет итоговой нагрузки района, подлежащего реновации, вносит так же отсутствие в нормативных документах данных по выбору нагрузок для зданий, которые часто встречаются при современной комплексной застройке района. К примеру, нет нормативной документации, регламентирующей расчет нагрузок для таких сооружений как ледовый дворец, храм и т.п. Таких построек на территории вновь проектируемых особо крупных районов может быть довольно много. Проектировщик должен выбирать для них удельные нагрузки, исходя своих личных соображений. В рассматриваемом примере проектировщик принял 1,9 кВт/ед.тех мощности для ледового дворца и 0,15 кВт/ед.тех мощности для храма. Сложно оценить корректность данного расчета, так как он не основывается на нормативных документах.

Ниже приведена таблица 2 с итоговыми показателями для проектируемого района с указанием мощности, выделенной на сносимые

здания, и итоговой мощности всех проектируемых объектов. Несложно заметить, что суммарная расчетная нагрузка района выросла в 3,9 раза.

Таблица 2

Итоговая таблица нагрузок

| Типы объектов | Мощность, кВт |
|---|---------------|
| Жилые здания, подлежащие сносу | 9077,7 |
| Нежилые здания, подлежащие сносу | 577,4 |
| Суммарная нагрузка зданий, подлежащих сносу | 9655,1 |
| Проектируемые жилые здания | 30870 |
| Проектируемые нежилые здания | 6730,6 |
| Суммарная нагрузка проектируемых объектов | 37600,6 |

Вывод. Приведенный реальный проектный расчет показал, что итоговая нагрузка для вновь сооружаемого жилого района, подлежащего реновации, может возрасти в несколько раз. Это вызовет за собой потребность в полной замене питающих кабельных линий и необходимость в дополнительном прохождении процедуры технологического присоединения планируемых к застройке объектов к городской электрической сети в соответствии с [4].

При проектировании новых объектов комплексной реновации жилых районов имеется проблема отсутствия нормативных документов, содержащих показатели для расчета проектных электрических нагрузок многих новых типов инфраструктурных объектов, что требует их разработки и утверждения.

Литература

1. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 413 с.
2. СП-256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа.
3. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей.
4. Правила технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству

электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям. Утверждены Постановлением Правительства РФ от 27.12.2004 № 861.

5. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика, № 5, 2014. С. 27–30.

УДК 520.192.4

ОЦЕНКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Полюянович Николай Константинович, Азаров Николай Васильевич, Дубяго Марина Николаевна, Огреничев Александр Васильевич
ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», Таганрог, Россия
nik1-58@mail.ru

Статья посвящена исследованиям термофлуктуационных процессов в соответствии с теорией теплопроводности для решения задач диагностики и прогнозирования остаточного ресурса изоляционных материалов на основе неразрушающего температурного метода.

Ключевые слова: изоляционные материалы, силовые кабельные линии, надежность, электрические сети, прогнозирование, нейросеть.

EVALUATION OF FORECASTING THERMAL PROCESSES IN POWER CABLE NETWORKS

Poluyanovich Nikolay Konstantinovich, Azarov Nikolay Vasilievich, Dubyago Marina Nikolaevna, Ogrenichev Alexander Vasilievich

The article is devoted to the study of thermal fluctuation processes in accordance with the theory of thermal conductivity for solving problems of diagnostics and predicting the residual life of insulating materials based on the non-destructive temperature method.

Keywords: insulating materials, power cable lines, reliability, electrical networks, forecasting, neural network.

Введение и постановка задачи. Многочисленные случаи выхода из строя силового кабеля – как важнейшего элемента системы электроснабжения, из-за превышения допустимой температуры делают задачу анализа его теплового режима весьма актуальной. Температура является одним из основных факторов, обуславливающих износ изоляции. Количество выделяемого в диэлектрике тепла пропорционально диэлектрическим потерям. Задачей исследования является разработка

интеллектуальной системы прогнозирования температуры жилы СКЛ для планирования режимов работы электросети с целью повышения надежности и энергоэффективности их взаимодействия с объединенной энергосистемой [1].

Обзор и выбор программных средств для разработки ИНС. Существует большое количество программных пакетов для работы с нейросетями. Различают универсальные программные пакеты и прикладные программные пакеты для работ по моделированию нейронных сетей (Neural Network Simulators). Среди наиболее важнейших свойств таких программных нейросетевых симуляторов является их способность проводить синтез кода программы результирующей искусственной нейронной сети на особом алгоритмическом языке программирования высокого уровня (чаще всего – C++ и Pascal). Такой программный код впоследствии можно довольно легко интегрировать в стороннюю пользовательскую программу. Перечень наиболее распространенных программных средств для разработки нейросетей приведен на рисунке 1.

Проведен сравнительный анализ вышеперечисленных систем для разработки нейросетевых систем. Выбор был сделан в пользу среды MATLAB NNT ввиду обширности предоставляемых данной программной средой возможностей для полноценной разработки, обучения, тестирования и отладки разрабатываемых нейросетевых структур.

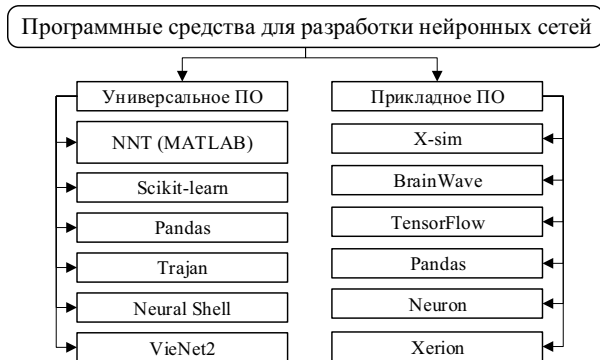


Рис. 1. Наиболее распространённые средства для разработки нейросетей

Анализ и выбор структуры НС. Для решения задач прогнозирования применяют следующие типы ИНС: линейную сеть, многослойный персептрон, сеть на радиальных базисных функциях, обобщенно-

регрессионную сеть. На основе анализа методов искусственного интеллекта, предназначенных для решения задач краткосрочного прогнозирования, установлено, что наиболее популярные и изученные архитектуры – это многослойный перцептрон, нейронная сеть с общей регрессией, нейронные сети Кохонена и др. Для прогнозирования температуры жилы СКЛ была использована модель, описывающая изменения во времени фактических значений температур, которая в общем виде представляется нелинейной функцией:

$$Y_t = f(X_{t-n}, T_{t-n}, N_t) + \varepsilon_t,$$

где X_t – значение температуры жилы в момент времени t ; t – текущее время; X_{t-n} – предшествующие наблюдения температуры жилы, T_{t-n} – предшествующие наблюдения температуры окружающей среды; n – индекс ретроспективы данных; I_t – величина тока; ε_t – случайная составляющая, представляющая ненаблюдаемые факторы, влияющие на температуры жилы [2].

В рамках работы были проанализированы четыре типов нейронные сети: каскадная сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки; сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки; сеть с запаздыванием и обратным распространением ошибки; сеть Элмана с обратным распространением ошибки. Проведено сравнение типов нейронной сети. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение типов НС

| № п.п | Тип нейронной сети | Средняя ошибка прогноза | |
|-------|--|-------------------------|-------------------|
| | | ε , °C | ε , % |
| 1 | Многослойный перцептрон (MLP) | 0,9 | 2,3% |
| 2 | Рекуррентная нейронная сеть | 1,2 | 2,5% |
| 3 | Каскадная сеть прямого распространения | 1,63 | 4,2% |
| 4 | Сеть Элмана с обратным распространением ошибки | 2,14 | 5,3% |
| 5 | С запаздыванием и обратным распространением ошибки | 2,75 | 7,4% |

Таким образом, анализ рассмотренных НС показал, что самую высокую точность имеет многослойный перцептрон. Для решения задачи

прогнозирования ресурса СКЛ была выбрана сеть с прямым распространением данных и обратного распространения ошибки [3].

Однослойная нейронная сеть. На рисунке 2, показана однослойная НС, состоящая из L элементов, у которой входные сигналы $x_i(k)$ и один выход $y(k)$ на каждый нейрон.

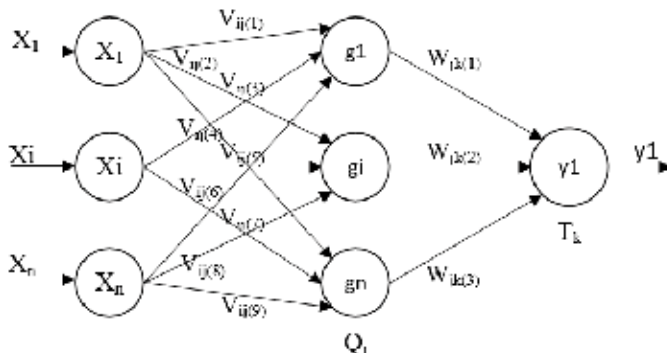


Рис. 2. Однослойная нейронная сеть

Уравнения данной сети можно записать как

$$y_l(k) = \varphi\left(\sum_{j=1}^n w_{lj}x_j(k) + Q_{0l}\right), l=1,2,\dots,L. \quad (2.6)$$

Удобно записывать синаптические веса нейрона и пороги в матричной и векторной форме соответственно. Матрица весов и вектор порогов определяется как

$$w^{-T} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{11} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{L1} & w_{L2} & \dots & w_{Ln} \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} Q_{01} \\ Q_{02} \\ \vdots \\ Q_{0L} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Выходной вектор $y(t) = [y_0, y_1, y_2, \dots, y_L]$ можно записать как

$$y = \varphi\left(w^T x + b\right). \quad (2.8)$$

Вектор функции активации для вектора $v = [v_1, v_2, \dots, v_L]$ определяется как

$$\bar{\varphi}(v) \equiv [\bar{\varphi}_{v_1}, \bar{\varphi}_{v_2} \dots \bar{\varphi}_{v_L}]^T \quad (2.9)$$

Дальнейшее уточнение может быть достигнуто путем постановки порогового вектора в качестве расширенной матрицы весов в первом столбце в виде

$$w^{-T} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{11} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{L1} & w_{L2} & \dots & w_{Ln} \end{bmatrix}. \quad (2.10)$$

Следовательно, выходы НС могут быть выражены через расширенный входной вектор $x(k)$ как

$$y = \bar{\varphi}(w^T x) \quad (2.11)$$

Оценка прогнозирования термических процессов. Исследования по прогнозированию температурных режимов проводились с использованием нескольких функций активации нейрона, таких как сигмоидальная передаточная функция (logsig), гиперболический тангенс (tansig), линейная передаточная функция (purelin), линейная передаточная функция с насыщением, ступенчатая передаточная функция.

Задача – проанализировать влияние различных функций активации НС на ошибку прогноза потребления электрической энергии. В качестве выборки данных использовался массив значений послонных температур в процессе работы исследуемого образца силового кабеля.

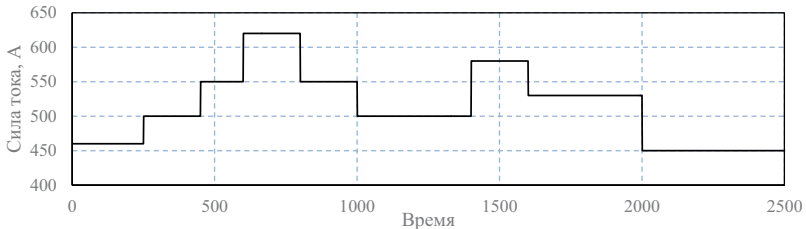


Рис. 3. Сводные результаты анализа прогноза исследованных конфигураций НС

Одной из решаемых задач в процессе создания и настройки искусственных НС является выбор функций активации нейронов в различных слоях исследуемой нейросетевой системы.

На рис. 4 приведены сводные результаты анализа результата прогноза исследованных конфигураций НС [4].

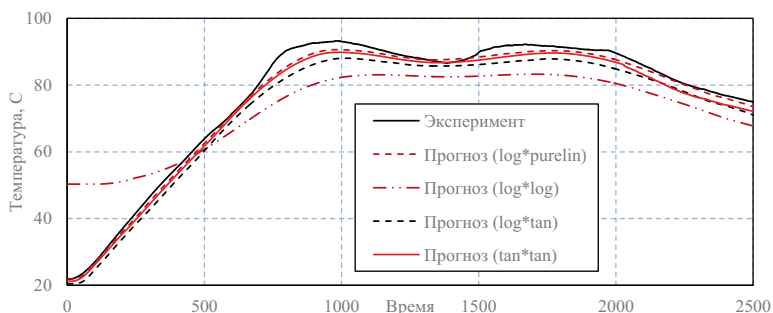


Рис. 4. Сводные результаты анализа прогноза исследованных конфигураций НС

Вывод. Установлено, что наибольшее распространение в прогнозировании термических процессов в силовых кабельных сетях находят методы, основанные на искусственных нейронных сетях (НС). Проведены исследования по использованию НС для моделирования термических процессов в силовых кабельных сетях. В качестве массива информации использовались ток жилы кабеля, температура защитной оболочки $\theta_{3,0}$ и окружающей среды $\theta_{0,с}$.

Литература

1. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Пшихопов В.Х. Метод исследования термофлуктуационных процессов в задачах диагностики и прогнозирования изоляционных материалов // Вестник Донского государственного технического университета, 2017. Т. 17. № 3 (90). С. 117–127.
2. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Термодинамический способ выявления деструкции изоляции в задачах диагностики и прогнозирования ресурса кабельных систем // Инженерный вестник Дона, 2017. № 3 (46). С. 25.
3. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Неразрушающий метод прогнозирования остаточного ресурса силовых кабельных линий // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование, 2012. № 1 (8). С. 27–33.
4. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий // Санкт-Петербург, 2017. Сер. Учебники для вузов. Специальная литература.

НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ВЛЭП С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА СТАЦИОНАРНОГО ТЕРМОГРАФИРОВАНИЯ

Попов Андрей Николаевич, Тюрина Наталья Александровна
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Popov.A.N@mail.altstu.ru, TurinaNatalie@yandex.ru

В данной статье описан перспективный метод непрерывного мониторинга фактического состояния конструктивных элементов воздушных линий электропередачи с помощью устройства стационарного термографирования, проведено его сравнение с другими распространенными методами, приведена оценка перспективности его использования для обнаружения возникающих дефектов в начальном периоде возникновения и без необходимости отключения и демонтажа оборудования.

Ключевые слова: эксплуатационный ресурс, надежность электроснабжения, мониторинг, тепловой режим, тепловизионный контроль, термографирование.

OVERHEAD POWER LINE STRUCTURAL ELEMENTS ACTUAL STATE CONTINUOUS MONITORING BY A STATIONARY THERMOGRAPHY DEVICE

Popov Andrey Nikolaevich, Tyurina Natalia Alexandrovna

This article describes a promising method of the overhead power line structural elements actual state continuous monitoring by a stationary thermography device, it's compared with other common methods, the prospects estimation of its use for early-stage defects determining without need to disconnect and disassembly the equipment is given.

Keywords: service life, power supply reliability, monitoring, thermal condition, thermal imaging control, thermography.

В современных условиях невозможно говорить об эффективности мероприятий по повышению надёжности электроснабжения без повсеместного внедрения мероприятий, направленных на повышение, либо поддержание эксплуатационного ресурса оборудования. В электроэнергетической отрасли одним из таких мероприятий является периодический тепловизионный контроль различных элементов электротехнического оборудования. В таких условиях переход от периодического к непрерывному контролю теплового режима элементов конструкции воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) напряжением 110–750 кВ без необходимости вывода из эксплуатации оправдан и является лишь вопросом времени и достаточности финансирования.

Экономический эффект от проведения мероприятий по тепловому контролю высоковольтных линий электропередачи напряжением 110–750 кВ в результате уменьшения числа аварийных отключений в энергетических системах, оценивается в несколько десятков миллионов рублей в год [1].

Контактные соединения токоведущих частей открытых и закрытых распределительных устройств (ОРУ, ЗРУ) и ВЛЭП являются теми элементами, которые подвергаются наиболее частой тепловизионной диагностике в силу наибольшей частоты возникновения дефектов и их критической важности для функционирования оборудования. Статистически распределение повреждений контактных соединений ОРУ ЗРУ и ВЛЭП имеет следующий вид: болтовые – около 48 %; подвижные контакты – около 43 %; опрессованные – около 6 %; сварные – около 2 %; другие виды – около 1 %. Кроме контактных соединений тепловизионной диагностике также подвергаются гирлянды подвесных изоляторов ВЛЭП, а также изолирующие покрышки и ввода трансформаторов, разрядников и ограничителей перенапряжений.

Экономический эффект от проведения мероприятий по тепловизионному контролю высоковольтных линий передачи напряжением 110–750 кВ в результате уменьшения числа аварийных отключений в энергетических системах, оценивается в несколько десятков миллионов рублей в год [2]. При этом неоспоримым недостатком как традиционного способа тепловизионной диагностики с помощью ручных тепловизоров, так и диагностики с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является отсутствие возможностей непрерывного и массового диагностирования состояния оборудования (см. таблицу 1).

Данный проект направлен на устранение вышеописанных недостатков путем разработки устройства непрерывного контроля теплового режима элементов конструкции ВЛЭП напряжением 110–500 кВ.

В предлагаемом в данном проекте устройстве массовость проведения тепловизионного контроля обеспечивается за счет оригинального технического исполнения инфракрасного сенсора, что обеспечивает значительное снижение цены устройства по сравнению с традиционными ручными и БПЛА-базируемыми тепловизорами.

Предлагаемое устройство конструктивно состоит из первичных преобразователей теплового излучения в инфракрасном диапазоне, сервоприводов для их отклонения по горизонтальной и вертикальной осям, а также приемопередатчика беспроводной связи для передачи данных на сервер для последующего накопления, анализа и хранения и приема

команд управления. Первичные преобразователи с помощью сервоприводов последовательно формируют тепловизионную картину заданной области пространства, а приемопередатчик передает её на сервер для осуществления тепловизионного контроля по фактическому состоянию элементов конструкции ВЛЭП напряжением 110–750 кВ без необходимости вывода из эксплуатации, а также привлечения выездных бригад.

Таблица 1

Сравнение способов тепловизионной диагностики элементов конструкции ВЛЭП

| Наименование | Основные достоинства | Основные недостатки | Иллюстрация |
|---|--|---|---|
| 1. Ручным тепловизором | <ul style="list-style-type: none"> – высокая разрешающая способность получаемых теплограмм; – возможность получения изображений с различных ракурсов и масштабов | <ul style="list-style-type: none"> – невозможность постоянность проведения непрерывной и/или массовой диагностики; – высокая стоимость комплекта оборудования |  |
| 2. Тепловизором, установленным на БПЛА | <ul style="list-style-type: none"> – возможность большого охвата диагностируемого оборудования; – возможность получения изображений труднодоступных элементов | <ul style="list-style-type: none"> – требуется персонал, обладающий специальной подготовкой по управлению БПЛА; – чрезвычайно высокая стоимость комплекта оборудования |  |
| 3. Стационарной тепловизионной установкой | <ul style="list-style-type: none"> – возможность проведения непрерывной тепловизионной диагностики оборудования; – отсутствие необходимости привлечения выездных бригад; – низкая стоимость | <ul style="list-style-type: none"> – необходимость установки комплектов диагностического оборудования на опорах ВЛЭП; – необходимость периодического обслуживания комплектов оборудования |  |

Выявление дефектов тепловым методом неразрушающего контроля, предотвращение аварий и повреждений оборудования, достоверность, объективность и точность получаемых сведений, безопасность при проведении обследования оборудования, не требуется отключение и демонтаж оборудования, возможность определения дефектов на ранней стадии развития [3], относительно низкая стоимость, возможность выявлять наличие дефектов и фиксировать их точное месторасположение по термограмме.

Литература

1. Нижнему Поволжью – творческую молодёжь // материалы VI региональной научно-практической студенческой конференции, г. Камышин, 17–18 мая 2012 г. в 6 т. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012. Т. 4. 156 с. ISBN 978-5-9948-0945-7. Доступно по: URL: https://www.kti.ru/docs/konf/studkonf2012/Том_4_8-9.pdf.

2. Лебедева А.А., Грибанов А.А. Определение места повреждения на воздушных линиях электропередач напряжением 220 кВ на основе двустороннего метода расчёта // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015. Т. 1. С. 64–70.

3. Балагин Д.В. Совершенствование технологии контроля технического состояния топливной аппаратуры тепловозных дизелей : диссертация кандидата технических наук : 05.22.07. Омск, 2013. 132 с.

УДК 621.316.925.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ В ИМИТАЦИОННОЙ СРЕДЕ MATLAB/Simulink

Прокушева Елизавета Евгеньевна, Толстихина Лилия Викторовна
ФГБОУ ВО «Саяно-Шушенский филиал Сибирского Федерального Университета»,
Черемушки, Россия
prokusheva_eliza@mail.ru

Цифровизация в электроэнергетике является неотъемлемой частью цифровой экономики. В настоящее время внедряются проекты цифровых подстанций и цифровых электрических станций. Помимо цифровизации в электроэнергетическом секторе стоит не менее важная задача цифровизации в образовательном процессе при

подготовке специалистов-электроэнергетиков. Для решения данной задачи требуется внедрение в образовательный процесс программных комплексов, с применением которых будущие специалисты моделируют объекты электроэнергетической системы, но на более безопасной платформе. В данной статье рассмотрено моделирование цифрового устройства релейной защиты на примере токовой отсечки для линии с двусторонним питанием с использованием имитационной среды MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: электроэнергетика, электротехника, релейная защита, токовая отсечка, моделирование, программный комплекс.

SIMULATION OF A DIRECTED CURRENT CUTOFF FOR A TWO-WAY POWER SUPPLY NETWORK IN THE MATLAB SOFTWARE PACKAGE (SIMULINK)

Tolstihina Lilia Viktorovna, Prokusheva Elizaveta Evgenievna

The article considers the issue of digitalization in the educational process on the example of modeling a relay protection device in the MATLAB/Simulink simulation model. Projects for digital substations and digital power stations are currently being implemented. The digitalization in the electric power industry is an integral part of the digital economy. In addition to digitalization in the electric power sector, there is an equally important task of digitalization in the educational process when training electric power specialists. To solve this problem, it is necessary to introduce software complexes into the educational process, with the use of which future specialists model objects of the electric power system, but on a more secure platform. This article discusses the simulation of a relay protection device on the example of a current cut – off for a two-way power line using the MATLAB/Simulink simulation environment.

Keywords: electric power industry, electrical engineering, relay protection, current cut-off, modeling, software package, graphical modeling environment.

В современном мире цифровые технологии внедрены в различные сферы жизни и производства, в том числе и в образовании. Цифровизация в образовании – неотъемлемая часть подготовки современного специалиста, обладающего необходимыми знаниями, умениями и компетенциями в сфере разработок реальных объектов в искусственной графической среде.

Внедрение в образовательный процесс таких программных комплексов, как MATLAB/Simulink, позволяет выполнять моделирование объектов электроэнергетической системы, но на более безопасной платформе.

В статье рассматривается моделирование объекта электроэнергетики [1, 2] на примере устройства цифровой релейной защиты для линии с двусторонним питанием в имитационной среде MATLAB/Simulink [3]. Основным преимуществом цифровых устройств релейной защиты является возможность интегрирования их в АСУ ТП.

Модель цифровой токовой отсечки для линии с двусторонним питанием представлена на рис.1.

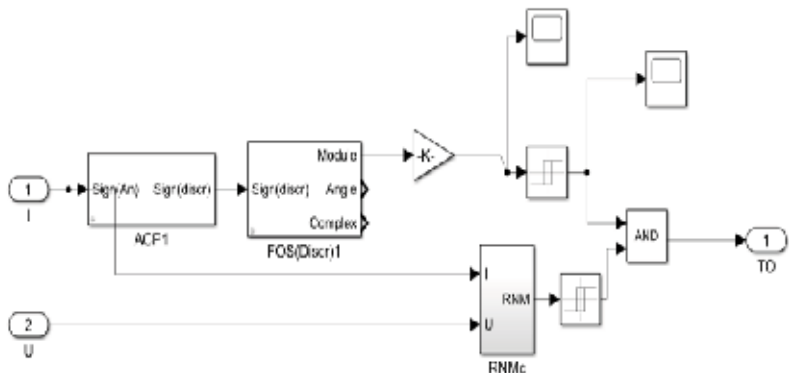


Рис. 1. Цифровая токовая отсечка для линии с двусторонним питанием

Цифровое реле защиты смоделировано созданием добавочного компонента цепи RNMс. Данный компонент был реализован с применением математических функций, как часть процессора, содержащаяся в реальном устройстве. Реализация добавочного компонента RNMс цифровой токовой релейной защиты представлена на рис. 2.

Модель (рис. 3) была испытана в режиме трёхфазного короткого замыкания.

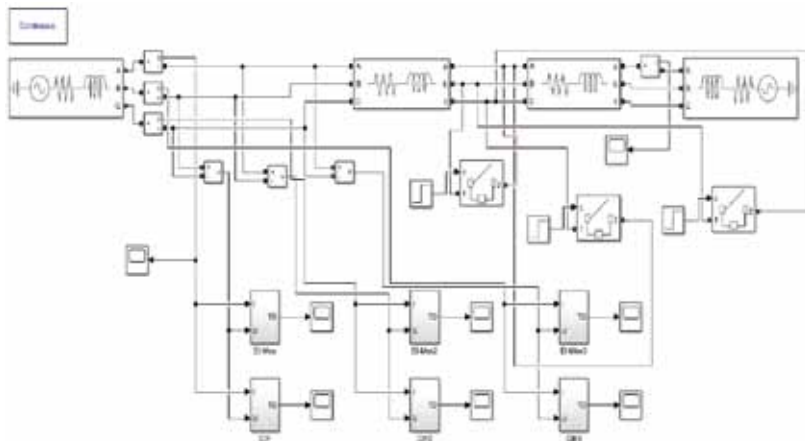


Рис. 3. Модель токовой отсечки для линии с двусторонним питанием

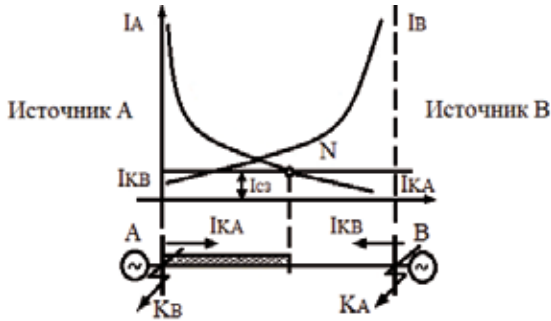


Рис. 4. Схема сети с двусторонним питанием

Пример:

Источник 1: $U_1 = 115$ кВ, $R = 1,0$ Ом, $X = 5,0$ Ом.

Источник 2: $U_1 = 115$ кВ, $R = 3,0$ Ом, $X = 12,0$ Ом.

Параметры линии: $R_0 = 0,08$ Ом/м, $X_0 = 0,4$ Ом/м, $L = 40$ км.

Каждый элемент модели был закомментирован в соответствии с аналогом реального объекта.

Были рассчитаны токи короткого замыкания (1) и (2) и ток качания (3):

$$I_{KA} = I_{K3} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot x_{рез}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 28,67} = 2,31 \text{ кА.} \quad (1)$$

$$I_{KA} = I_{K3} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot x_{рез}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 21,41} = 3,1 \text{ кА.} \quad (2)$$

Токи качания:

$$I_{\text{кач.макс}} = \frac{2E}{Z_{\Sigma}} = \frac{230}{33,776} = 6,8 \text{ кА.} \quad (3)$$

Принимаем ток срабатывания защиты $I_{C3} = 6,8$ кА.

На рис. 5 представлена одна из осциллограмм тока для режима трёхфазного короткого замыкания отсечки А.

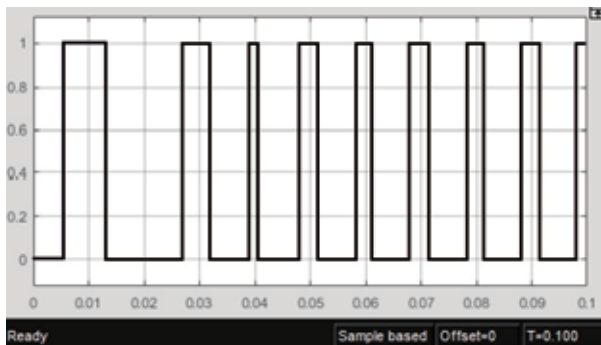


Рис. 5. Показания осциллографа в зоне защиты токовой отсечки А

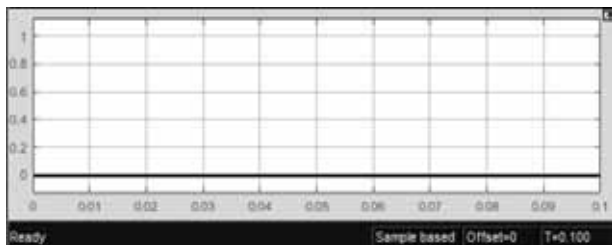


Рис. 6. Показания осциллографа вне зоны защиты токовой отсечки А

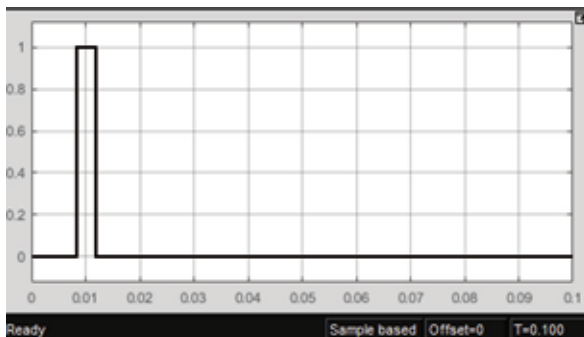


Рис. 7. Показания осциллографа в зоне защиты токовой отсечки В

На рис. 6 представлена осциллограмма тока вне зоны защиты отсечки А.

Из рис. 5 видно, что время срабатывания устройства релейной защиты (УРЗ) составляет 0,02 с.

Из рис. 6 видно, что вне зоны защиты УРЗ отсечки А не сработало.

Вне зоны защиты отсечки А срабатывает защита отсечки В (рис.7).

Выводы: В данной работе была смоделирована цифровая токовая отсечка для линии с двусторонним питанием. Результаты испытания модели показали работу УРЗ в зоне и вне зоны защиты объекта, цифровое устройство РЗ безинерционное. Создание имитационных моделей в процессе обучения позволит будущим специалистам быстрее пойти процесс адаптации на производстве при проектировании и эксплуатации цифровых устройств релейной защиты.

Литература

1. Бирюлин В.И., Горлов А.Н., Куделина Д.В. и др. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2020. – 197 с.

2. Андреев М.В. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие // Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – 166 с.: ил.

3. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: Спец. Справочник. СПб. Санкт-Петербург, 2015. – 475 с.: ил.; – 21 с.

УДК 621.315.1

АНАЛИЗ ГРОЗОУПОРНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА КОМПОЗИТНЫХ ОПОРАХ В СРАВНЕНИИ С ВОЗДУШНЫМИ ЛИНИЯМИ НА ТРАДИЦИОННЫХ ОПОРАХ

Резаева Мария Александровна, Фомина Ирина Александровна
ФГБОУ ВО «Новосибирский Государственный Технический Университет»,
г. Новосибирск, Россия

¹ mrezaeva@list.ru, ² ira@power.nstu.ru

Данная статья посвящена исследованию грозозащиты воздушной линии (ВЛ) электропередачи 110 кВ с композитными опорами. Целью работы является определение грозопорности воздушной линии с композитными опорами путем сравнения количества отключений линии вследствие удара молнии с аналогичным параметром для традиционных типов опор.

Приведено понятие грозопорности воздушных линий, а также факторы, характеризующие её, и особенности конструкции линий, от которых зависит данный

параметр. Осуществляется расчет количества отключений линии при ударах молнии в разные участки воздушной линии для трех типов стоек опор – композитных, металлических и железобетонных.

Ключевые слова: грозоупорность, воздушные линии электропередачи, композитный материал, гроза, отключения ВЛ, опоры, перенапряжения

LIGHTNING RESISTANCE ANALYSIS OF OVERHEAD POWER LINES ON COMPOSITE SUPPORTS IN COMPARISON WITH OVERHEAD LINES ON TRADITIONAL SUPPORTS

Rezaeva Mariia Aleksandrovna, Fomina Irina Aleksandrovna

This article is devoted to the investigation of lightning protection of 110 kV overhead power line with composite supports. The aim is to determine the lightning resistance of an overhead line with composite supports by comparing the number of line breaks caused by lightning with a similar parameter for conventional support types.

The concept of lightning resistance of overhead lines and peculiarities of line design, on which this parameter depends, are given. I calculated the number of line breaks in lightning strikes in different parts of the overhead line for three types of supports - composite, metal and reinforced concrete.

Keywords: lightning resistance; overhead power lines; composite material; stroke of lightning; power outages; pillars; overvoltages.

Одним приоритетов развития электросетевого комплекса является повышение надёжности электроснабжения электрических сетей, что в свою очередь требует разработки и применения современных, инновационных конструкций опор и фундаментов. Вопрос об устойчивости к грозовым поражениям данного типа опор по-прежнему является открытым, поскольку высота стоек опоры может являться причиной их недостаточной грозоупорности, вследствие чего линии могут нуждаться в дополнительной грозозащите.

Грозоупорность воздушных линий характеризуется величиной, именуемой количеством грозовых отключений.

Расчет количества отключений ВЛ. Расчетными случаями поражения ВЛ для определения количества отключений линии, обусловленных грозовыми воздействиями, считаются: удар молнии в фазный провод при ее прорыве через тросовую защиту; удар молнии непосредственно в опору, после которого следует перекрытие с опоры на провод; удар молнии в грозозащитный трос в средней части пролета, в результате которого возможно перекрытие изоляции либо с троса на провод, либо с троса на землю; удар молнии вблизи ВЛ с последующим перекрытием, обусловленным индуктированными перенапряжениями. Последний случай для линий электропередачи 110 кВ и выше не является расчетным.

Выполним расчет количества грозových отключений линии 110 кВ длиной 100 км для следующих вариантов материалов стоек опор: композитные материалы, железобетон, сталь.

Выбор типов опор осуществим в соответствии с расчетными условиями для Новосибирской области. Согласно ПУЭ Новосибирская область относится к IV району по ветру и III району по гололеду. Также будем считать, что на ВЛ 110 кВ установлены провода марки АС 120/19. В соответствии с данными требованиями в качестве композитной опоры принимается ПК 110-1, железобетонной – ПСБ 110-1, металлической – ПС-110-5.

Расчет количества отключений при ударе молнии в провода. При ударах молнии в провода расчет количества отключений осуществляется по следующей формуле [6]:

$$n_{np} = N_{ПУМ} \times P_{пр} \times P_{1np} \times P_{д} \times (1 - P_{АПВ}), \quad (1)$$

где $N_{ПУМ}$ – количество прямых ударов молнии в линию; $P_{пр}$ – вероятность прорыва молнии через тросовую защиту на фазные провода; P_{1np} – вероятность перекрытия изоляции при грозovém поражении в провода; $P_{д}$ – вероятность того, что импульсное перекрытие перейдет в дугу короткого замыкания, которая горит устойчиво; $P_{АПВ}$ – вероятность успешного срабатывания устройства автоматического повторного включения (АПВ).

Число прямых ударов молнии в линию определяется удельным количеством прямых ударов молнии в линию, количество грозových часов в году для Новосибирской области ($T_{ч} = 60$) [3] и длиной провода [6].

Вероятность прорыва молнии через тросовую защиту зависит от угла тросовой защиты, а также от высоты подвеса грозозащитного троса на опоре.

Вероятность перекрытия изоляции при прорыве молнии мимо грозозащитного троса можно определить при значении тока молнии, который превышает уровень грозоупорности линии. Зная диапазон изменения тока молнии, будем менять данный параметр до тех пор, пока не найдем значение, которое превысит уровень грозоупорности.

Вероятность установления дуги вычисляется исходя из значения действующего рабочего напряжения вдоль пути перекрытия, которое для класса напряжение 110 кВ равно 126 кВ.

Вероятность успешного срабатывания АПВ зависит от класса напряжения линии. Для ВЛ 110 кВ данное значение равно $P_{АПВ} = 0,7$.

Расчет количества отключений при ударе молнии в опору. Количество отключений, возникающих из-за обратного перекрытия при ударе молнии в вершину опоры, рассчитывается по следующей формуле:

$$n_{on} = N_{ДУМ} \times P_{on} \times P_{1on} \times P_{д} \times (1 - P_{АПВ}); \quad (2)$$

где P_{on} – вероятность того, что при ударе молнии она попадет в опору или трос рядом с опорой;

P_{1on} – вероятность возникновения обратного перекрытия при ударе молнии в вершину опоры. Обратное перекрытие возникает при достижении напряжения на гирлянде изоляторов ее импульсной прочности.

Вероятность попадания молнии в вершину опоры или трос оценивается приближенно исходя из значений высоты опоры, принимаемой равной высоте подвеса грозозащитного троса, и длины пролета.

Вероятность обратного перекрытия при ударе молнии в опору можно определить как интеграл от функции плотности вероятностей распределения сочетаний амплитуды и крутизны тока по области опасных токов молнии [6].

Расчет количества отключений при ударе молнии в середину пролета с последующим обратным перекрытием с троса на провод. Количество отключений воздушной линии за год при ударе молнии в трос равно:

$$n_{mp} = N_{mp} \times P_{1mp} \times P_{д} \times (1 - P_{АПВ}); \quad (3)$$

где $N_{тр}$ – число ударов молнии в трос за один год;

$P_{1тр}$ – вероятность перекрытия гирлянды изоляторов при ударе молнии в грозозащитный трос.

Вероятность обратного перекрытия гирлянды изоляторов равна нулю: $P_{1тр} = 0$, следовательно, число отключений линии, установленной на композитных опорах, вызванное ударом молнии в середину пролета тоже равняется нулю.

Для других видов опор вероятность обратного перекрытия гирлянды изоляторов также будет равна нулю, следовательно, количество отключений линии при ударе провода в середину пролета будет также равняться нулю.

Определение суммарного количества отключений линии при ударах молнии. Зная все составляющие для расчета суммарного количества

отключений линии при ударах молнии, рассчитаем данную величину для каждого типа опор. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Зависимость суммарного количества отключений от типа опор и сопротивления заземлителя

| Тип опоры | R_3 | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30 | 20 | 15 | 10 | 7,5 | 5 |
| Композитные | 0,307 | 0,201 | 0,144 | 0,095 | 0,072 | 0,057 |
| Стальные | 0,533 | 0,405 | 0,327 | 0,247 | 0,210 | 0,179 |
| Железобетонные | 0,278 | 0,192 | 0,152 | 0,121 | 0,111 | 0,105 |

Из таблицы видно, что при самом малом значении сопротивления заземляющего устройства количество отключений линии у композитных опор самое маленькое, но с увеличением сопротивления заземляющего устройства оно становится больше, чем у железобетонных опор. Количество отключений у стальных опор самое большое при любых значениях сопротивления заземлителя.

Вывод: исходя из расчета, грозоупорность воздушных линий с исследуемым типом опор выше, чем с металлическими и железобетонными опорами. Однако поскольку суммарное количество отключений линии при величине сопротивления заземления опоры от 5 до 30 Ом не превышает трех для ВЛ 110 кВ, то линии, выполненные на композитных опорах, обладают достаточной грозоупорностью, следовательно, грозо-защита данных линий не нуждается в усилении.

Литература

1. Композитные опоры производства ЗАО «Феникс-88». Доступно по: https://fenix88.com/documents/ol_doc/kompozitnie-opori-2016.pdf.
2. Поров И.С. Опыт эксплуатации композитных опор ВЛ-110 кВ в ОАО «Тюменьэнерго». Доступно по: <https://docplayer.ru/26673255-Опыт-эксплуатации-композитных-опор-вл-110-кв-в-оао-тюменэнерго.html>.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. М., Ростехнадзор, 2010. 411 с.
4. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей // 4-е изд., перераб. и доп. Москва. ЭНАС. 2012. 376 С.

5. Стальные и железобетонные опоры ВЛ 35–500 кВ. Опоры для больших переходов ВЛ 35–330 кВ: Каталог. М., 1976. 87 с.

6. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов // Под общ. ред. В.П. Ларионова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986. 464 с.: пл.

УДК 621.3.077

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ВХОДНОГО ТОКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Рудаков Александр Иванович, Киселев Игорь Николаевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
rud-38@mail.ru, igorkiselev17@gmail.com

Описана разработанная имитационная модель для исследования формы сигналов в системе «электрическая сеть – преобразователь частоты – электродвигатель». Дан сравнительный анализ способов снижения гармонических искажений формы входного тока на основании компьютерного моделирования.

Ключевые слова: преобразователь частоты, гармонические искажения, электродвигатель, сетевой дроссель, пассивный фильтр, дроссель постоянного тока.

ANALYSIS OF WAYS TO REDUCE THE HARMONIC DISTORTIONS OF THE INPUT CURRENT OF FREQUENCY INVERTERS

Rudakov Alexander Ivanovich, Kiselev Igor Nikolaevich

The developed simulation model for the study of the form of signals in the system "electric network - frequency converter - electric motor" is described. A comparative analysis of methods for reducing the harmonic distortions of the input current shape based on computer simulation is given.

Keywords: frequency converter, harmonic distortion, electric motor, line choke, passive filter, DC choke.

Входной ток преобразователей частоты (ПЧ) для электродвигателей при работе очень отличается от синусоидальной формы. Это может вызывать искажение синусоидальности напряжения сети. Причина этого явления заключается в импульсном токе зарядки конденсатора на выходе выпрямителя ПЧ. Кроме этого, генерация высших гармоник приводит к перенапряжениям в обмотке статора электродвигателя. Для уменьшения величины гармоник во входном токе ПЧ используют сетевые дроссели,

которые подключаются последовательно на входе ПЧ, пассивные фильтры, дроссели постоянного тока и их комбинации.

Для сравнительного анализа данных способов уменьшения гармонических искажений создана модель в среде *Multisim 14* (рис. 1), включающая в себя асинхронную машину, силовую часть ПЧ, источники энергии и различные измерители. Параметры электродвигателя в модели приближены к характеристикам реального асинхронного двигателя АИР160S4 мощностью 15 кВт. Обычно выходное напряжение инвертора ПЧ представляет модулированный сигнал посредством одноуровневой широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Поэтому система управления (СУ) в разработанной модели осуществляет данный тип модуляции. В ней имеются три операционных усилителя (ОУ), на одни входы которых подается сигнал частотой 50 Гц от трехфазного синусоидального генератора, а на другой – от генератора треугольного сигнала частотой 2 кГц. В результате на выходе ОУ появляется ШИМ-сигнал, который подается на управляющие электроды трех *IGBT*-транзисторов инвертора и в СУ на базу биполярных транзисторов, реализующих логическую функцию отрицания для управления оставшимися тремя *IGBT*-транзисторами. Электродвигатель работает с постоянным номинальным моментом сопротивления, равным 98,44 Н·м.

Принцип действия сетевого дросселя основан на том, что с ростом номера гармоники его индуктивное сопротивление возрастает, значит ток этих гармоник снижается. Кроме этого, дроссель ограничивает установившийся ток короткого замыкания и его скорость нарастания, а также способствует выравниванию питающих напряжений при их несимметрии. В данной модели учтем главное свойство дросселя – его индуктивность, а потерями на вихревые токи в сердечнике и гистерезис пренебрегаем. Согласно [1] индуктивность дросселя должна соответствовать падению напряжения от 3 до 5 % номинального напряжения сети при номинальном токе ПЧ. Исходя из результатов моделирования индуктивность 0,7 мГн соответствует данному требованию.

Снятые осциллограммы входного тока и напряжения на выходе выпрямителя ПЧ с сглаживающим конденсатором показаны на рис. 2. На рис. 2 слева на выходе выпрямителя используется конденсатор емкостью 1000 мкФ, а справа – 6300 мкФ. В первом случае линейное напряжение на выходе ПЧ U_n составляет 380,9 В, общее гармоническое искажение по току THD_I составляет 90,5 %, во втором – $U_n = 390,1$ В, $THD_I = 132,7$ %.

Можно сказать, что в первом случае емкость недостаточна ввиду пульсаций напряжения, однако THD_I меньше, ввиду того, что импульс заряда конденсатора длительнее [3]. Когда конденсатор отсутствует, $U_{д} = 378,1$ В, длительность «импульса» еще больше и составляет 6,5 мс, в случае синусоиды длительность полуволны 10 мс. Т.о., чем больше емкость конденсатора на выходе выпрямителя, тем более искаженным является входной ток, но имеются пульсации напряжения.



Рис. 2. Осциллограммы входного тока и постоянного напряжения ПЧ

Однако, если подключить сетевой дроссель индуктивностью 0,7 мГн, то при значениях емкости 1000, 6300 мкФ, ток двигателя принимает несинусоидальный вид (рис. 3, а) вследствие неодинаковых по амплитуде полуволн входного тока ПЧ (Рис. 3, б). При этом $THD_I = 41,1$ %. Применение емкости в 15000 мкФ делает ток двигателя синусоидальным за счет выравнивания полуволн входного тока ПЧ при том же уровне $THD_I = 41,3$ %. Кроме этого, напряжение на выходе выпрямителя не пульсирует. Т.о., применение сетевого дросселя с падением напряжения от 3 до 5 % с достаточно емким конденсатором эффективно, при этом показатель THD_I на уровне 40 %.

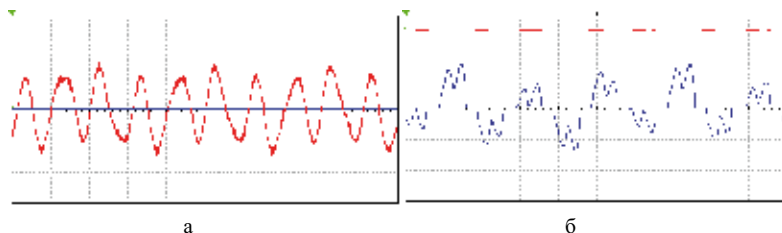


Рис. 3. Осциллограммы тока двигателя (а) и входного тока ПЧ (б)

Согласно модели применение пассивных фильтров, подключаемых параллельно на вход ПЧ через индуктивность 1 мГн, без сетевых дросселей приводит к увеличению $THD_I = 136,1$ %. С сетевыми дросселями применение пассивных фильтров с значением емкости 1000 мкФ приводит

к повышению $THD_I = 71,7 \%$ и $U_{дл} = 406,5 \text{ В}$, с емкостью 100 мкФ – уменьшает THD_I на 6% ($THD_I = 34,8 \%$) и повышает напряжение примерно на 1% ($U_{дл} = 375,0 \text{ В}$). Меньшие значения емкости практически не влияют THD_I и $U_{дл}$. [4] Можно сделать вывод, пассивные фильтры имеют невысокую эффективность и их следует применять совместно с сетевыми дросселями. Кроме этого, они являются источниками реактивной мощности в сети при небольшой нагрузке двигателя.

Дроссель постоянного тока индуктивностью 5 мкФ , подключенный последовательно перед конденсатором, совместно с сетевым дросселем в рассматриваемой модели снижает THD_I до $24,9 \%$, не изменяя $U_{дл}$ ($U_{дл} = 366,0 \text{ В}$) (рис. 4). Большие значения индуктивности могут привести к потере момента двигателя. Использование еще и пассивного фильтра в этой схеме не приводит к изменениям THD_I и $U_{дл}$ [5].

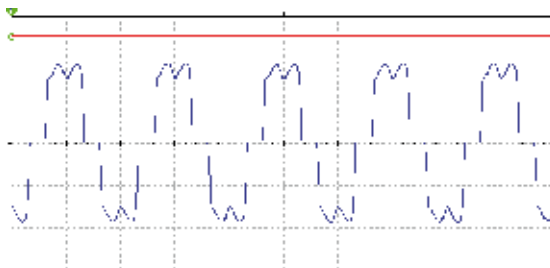


Рис. 4. Осциллограммы входного тока и постоянного напряжения на входе инвертора ПЧ

Подведем итоги. Если нет ни сетевого дросселя, ни пассивного фильтра, ни дросселя постоянного тока, то с точки зрения наименьшего генерирования гармоник в питающую сеть преобразователем частоты на выходе фильтра не должно быть конденсатора, при этом THD_I порядка 26% , или его емкость должна быть небольшой. Причем искажения синусоидальности тока электродвигателя остаются в допустимых пределах. Однако большинство ПЧ имеют конденсатор на выходе выпрямителя. Применение сетевого дросселя эффективно, при этом показатель THD_I на уровне 40% , а без него порядка 100% . Применение пассивных фильтров совместно с сетевыми дросселями позволяет снизить THD_I еще на 5% . Однако эффективнее всего использовать сетевой дроссель совместно с дросселем постоянного тока, при этом THD_I составляет порядка 25% .

Литература

1. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 30. Изменение и устранение гармоник, 2009. 48 с.
2. Казачковский Н.Н. Силовые полупроводниковые устройства для управления двигателями переменного тока: Учебный модуль для студентов ВУЗов специальности 141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика» (специализация «Электромеханические системы автоматизации и электропривод»). Теоретическая часть // Шнейдер Электрик, 2017. 193 с.
3. Денисова А.Р. Исследования воздействия внешних электромагнитных полей. Промышленная энергетика, № 6.
4. Федотов А.И., Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика, № 12, 2016. С. 28–33.
5. Янченко С.А., Цырук С.А., Куликов А.И. Анализ методов разгрузки трансформаторов в сетях с высоким уровнем несинусоидальности тока // Промышленная энергетика. 2017, № 7, С. 44–53.
6. Иванова В.Р., Киселев И.Н. Частотно-регулируемый электропривод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019; 21(5):59-70. Доступно по: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-5-59-70>.
7. Костинский С.С. Обзор и результаты исследований гармонического состава тока, потребляемого преобразователями частоты малой мощности, а также способов и устройств для снижения их негативного влияния на системы электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 2. С. 27–42.

УДК 621.311

ПЕРЕВОД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ ПЛАТФОРМУ

Савина Наталья Викторовна, Янькова Марина Алексеевна
ФГБОУ ВО «Амурский Государственный Университет», г. Благовещенск, Россия
nataly-savina@mail.ru, yankova_marina@mail.ru

В работе показана целесообразность перевода электрических сетей на интеллектуальную платформу, приведены технологии, которые способствуют этому

переводу, выявлен экономический эффект от внедрения интеллектуальных сетей в различных отраслях. Реализация концепции интеллектуальных электрических сетей позволит обеспечить гармоничное взаимодействие с окружающей средой, улучшить качество жизни и обеспечить общим экономический подъем.

Ключевые слова: Интеллектуальные электрические сети, ключевые технологии, инновационные устройства, эффективность, исследование.

TRANSFER OF ELECTRICAL GRIDS TO AN INTELLIGENT PLATFORM

Savina Natalia Viktorovna, Yankova Marina Alekseevna

The work shows the feasibility of transferring electrical networks to an intelligent platform, provides technologies that contribute to this transfer, reveals the economic effect of the introduction of intelligent networks in various industries. The implementation of the concept of smart power grids will ensure a harmonious interaction with the environment, improve the quality of life and ensure a general economic recovery.

Keywords: Intelligent electrical grids, key technologies, innovative devices, efficiency, research.

В Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года поставлена задача перехода к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, способной адекватно ответить на вызовы и угрозы в своей сфере и преодолеть имеющиеся проблемы [4]. Такой переход возможен путем внедрения прорывных технологий, обеспечивающих цифровую трансформацию и интеллектуализацию электроэнергетики, в результате которых новое качество обретут все процессы в этой сфере, новые права и возможности получают потребители продукции и услуг электроэнергетики. За рубежом такие технологии объединяет концепция Smart Grid («умные» сети), разработанная на основе принятых стандартов международного типа. Она внедрена в ряде энергосистем Северной Америки, Европы и Азии [1].

Электрические сети являются ядром интеллектуальной электроэнергетики. Целесообразность перевода электрических сетей в России на интеллектуальную платформу обусловлена их техническим состоянием, низкой управляемостью, недостаточным уровнем надежности и эффективности функционирования. Наблюдается значительное отставание электроэнергетики РФ от развитых стран в части основных показателей, характеризующих уровень развития электроэнергетики. Электрические сети не справляются с заявленными современными требованиями как со стороны государства и общества, так и со стороны потребителей. Европа и США, столкнувшиеся с подобными проблемами, стали решать их значительно раньше на основе концепции Smart Grid.

Интеллектуальная или активно-адаптивная сеть представляет собой совокупность подключенных к генерирующим источникам и потребителям энергии силовых элементов и информационно – технологических и управляющих систем разного уровня.

Отличительной особенностью таких сетей является мониторинг состояния сети при 100 %-й наблюдаемости в нормальных, предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах работы; наличие линий электропередачи с управляемым изменением характеристик в реальном времени путем автоматического воздействия на активные элементы сети, меняя ее топологические параметры (конфигурацию и сопротивления); устройств электромагнитного преобразования электроэнергии с широкими возможностями регулирования параметров (напряжения по модулю и по фазе, активной и реактивной мощности, преобразования рода тока – переменного и постоянного и др.), средств накопления и аккумуляции энергии; интеллектуальных коммутационных аппаратов с высокой отключающей способностью и большим коммутационным ресурсом; современных цифровых устройств защиты и автоматики, самовосстановление после аварий.

Для перевода электрических сетей на интеллектуальную платформу необходим обоснованный выбор ключевых технологий, адаптация их под особенности архитектуры и функционирования сетей. Это возможно с помощью совокупности следующих ключевых технологий: интеллектуальные измерения и учет электроэнергии, распределенная генерация, устройства и системы управления параметрами режима и схемы сети, основанные на современной силовой электронике, новые технологии линий электропередачи, цифровые подстанции, системы управления, мониторинга и защиты на основе векторных измерений.

Приведем краткую характеристику и назначение ключевых технологий, обеспечивающих наблюдаемость и высокую управляемость интеллектуальных электрических сетей.

Системы измерения и учета электроэнергии, технологии считывания и обработки информации предназначены для оценивания состояния сети, оборудования и уровня интегрированности сети, обеспечения непрерывного мониторинга данных, минимизации ошибок при выставлении счетов. Они способствуют оптимизации режимов сети и снижению потерь электроэнергии, повышению управляемости сетью, сокращению каскадных отключений и предотвращению быстро развивающихся аварий, прямому взаимодействию поставщика услуг и потребителя.

Интеллектуальные системы учета автоматически снимают показания и передают полученную информацию в специальные платежные системы. К настоящему времени 15 % точек коммерческого учета уже оснащены «умными счетчиками» (около 2,7 млн приборов). Предполагается, что установка интеллектуальных счетчиков позволит сэкономить на 30 % размер платежей, для электрических сетей уйти от недоучета и переучета электроэнергии, снизить ее метрологические и коммерческие потери.

Вся элементная база при организации структур учета, защищенности и координации, накапливающих и перерабатывающих весь поток сведений, осуществляет управление устройствами в цифровой системе. Предусматриваются закольцованные схемы цифровых оптических датчиков и установка совокупности аппаратуры на цифровой элементной основе новейшего поколения. Инновационные устройства позволяют измерять параметры системы с необходимой точностью, а автоматическое управление максимально уменьшит несанкционированное вмешательство персонала, что повысит ее безопасность и снизит расход энергии при доставке к потребителю.

Усовершенствованные технологии, обеспечивающие управляемость электрической сети, в значительной степени определяют возможность интеллектуализации электрических сетей. Их назначение и типы устройств приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика технологий, обеспечивающих управляемость электрических сетей

| Технология | Решаемая задача | Типы устройств |
|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| FACTS, реализованные на управляемых устройствах силовой электроники (IGBT транзисторы, IGCT - тиристоры и др.) | – поддержание заданных ограничений по напряжению; – ограничение токовых нагрузок; – управление потоками мощности; повышение устойчивости | СТК, СТАТКОМ, УУПК, ССПК, ОРПМ, ФПУ [2] |
| Устройства ограничения токов короткого замыкания (КЗ) | Ограничение токов короткого замыкания | УПК, ОРПМ, ограничители тока КЗ на основе современной силовой электроники |

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|---|
| Накопители электроэнергии | <ul style="list-style-type: none"> – выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электроэнергии в периоды избыточной электроэнергии и выдача в сеть в периоды дефицита); – обеспечение в сочетании с современными устройствами силовой электроники повышения пределов статической и динамической устойчивости; – демпфирование колебаний активной и реактивной мощности, снятие или существенное сокращение нерегулярных колебаний в межсистемных линиях электропередачи, повышение пропускной способности линий электропередачи; – обеспечение бесперебойного питания электрических сетей и особо ответственных потребителей; – обеспечение стабильной и устойчивой работы децентрализованных и нетрадиционных источников, интегрированных в электрические сети. | Аккумуляторные батареи большой ёмкости или большой мощности, накопители энергии на основе молекулярных конденсаторов, накопители энергии на основе низкотемпературных сверхпроводников, гидроаккумулирующие станции, накопители энергии на основе сжатого воздуха |
| Преобразователи рода тока | <ul style="list-style-type: none"> – согласованная работа электрических сетей переменного и постоянного тока в случаях их совместного использования; – согласованная работа сетей с различной частотой электрического тока, в том числе при аварийных ситуациях и восстановлении электроснабжения после ликвидации нарушений; – повышение пропускной способности элементов сети, содержащих «слабые» связи. | ВПТ: вставки на тиристорах, вставки на базе СТАТКОМ, вставки на базе асинхронизированных машин |
| Линии электропередачи нового поколения (ЛЭП) | <ul style="list-style-type: none"> – повышение пропускной способности электрических сетей; – повышение устойчивости; – повышение механической прочности ЛЭП | Высокотемпературные сверхпроводящие кабели, провода нового поколения |

Основной эффект от их перехода на интеллектуальную платформу заключается в сокращении потерь электрической энергии до 9,8 % (2024 г.) и 7,3 % (2035 г.) [4] и росте полезного отпуска электроэнергии (порядка 20 % от объема снижения потерь), повышении надежности путем сокращения частоты и продолжительности отключений. Потенциал снижения потерь в текущих ценах их покупки составляет порядка 70–80 миллиардов рублей в год.

К 2030 году переход на интеллектуальные сети позволит снизить потребность в установленной мощности более чем на 10 % или на 34 ГВт, электропотребление почти на 9 %. Относительный уровень потерь в сетях может уменьшиться с 30 до 8 % [3].

Перевод электрических сетей на интеллектуальную платформу обладает системным эффектом, что хорошо видно из таблицы 2 [5].

Таблица 2

Ожидаемый эффект от внедрения интеллектуальных (умных) сетей в различных отраслях экономики, млрд. кВт·ч

| Год | Показатели | Добыча полезных ископаемых* | Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство | Строительство | Оптовая и розничная торговля | Транспорт и связь |
|------|----------------------------------|-----------------------------|--|---------------|------------------------------|-------------------|
| 2020 | Прогноз потребления: стандартный | 650 | 20 | 15 | 40 | 102 |
| | с внедрением «умных» сетей | 591 | 18 | 13 | 36 | 93 |
| | Эффект | 58 | 2 | 1 | 4 | 9 |
| 2025 | Прогноз потребления: стандартный | 708 | 21 | 16 | 43 | 111 |
| | с внедрением «умных» сетей | 644 | 20 | 14 | 39 | 101 |
| | Эффект | 64 | 2 | 1 | 4 | 10 |
| 2030 | Прогноз потребления: стандартный | 766 | 23 | 17 | 47 | 102 |
| | с внедрением «умных» сетей | 697 | 21 | 16 | 43 | 109 |
| | Эффект | 69 | 2 | 2 | 4 | 11 |
| 2035 | Прогноз потребления: стандартный | 825 | 25 | 18 | 50 | 129 |
| | с внедрением «умных» сетей | 750 | 23 | 17 | 46 | 117 |
| | Эффект | 74 | 2 | 2 | 5 | 12 |

* Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды.

Выводы: охарактеризована целесообразность перевода электрических сетей в России на интеллектуальную платформу, обусловленная их

техническим состоянием, низкой управляемостью, недостаточным уровнем надежности и эффективности функционирования. Приведены отличительные особенности интеллектуальных сетей, выбраны ключевые технологии для перевода сетей на интеллектуальную платформу и дана их характеристика. Показан эффект от интеллектуализации электрических сетей.

Литература

1. Кобец Б.В., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.

2. Савина Н.В. Инновационное развитие электроэнергетики на основе технологий Smart Grid: учебное пособие // Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. 136 с.

3. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года (2014) // Институт энергетических исследований Российской академии наук. Доступно по: URL: https://www.eriras.ru/files/forecast_2040.pdf. Ссылка активна на 17.12.2020.

4. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Доступно по: URL: <https://portal.tpu.ru/>. Ссылка активна на 17.12.2020.

5. Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей. Доступно по: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-vnedreniya-intellektualnyh-elektroenergeticheskikh-setey/viewer>. Ссылка активна на 17.12.2020.

УДК 621.31

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Суворов Иван Флегонтович, Рыбакова Ирина Юрьевна, Иванов Андрей Андреевич,
Дейс Данил Александрович, Какаунов Сергей Владимирович
ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, Россия
ivan.suvorov.1947@mail.ru, rybakova-1984@mail.ru

Раскрываются вопросы оценки потерь электроэнергии в питающей электрической сети 35 кВ, включая силовой трансформатор 35/6 кВ, с учетом наличия высших гармоник.

Ключевые слова: потери электроэнергии, моделирование потерь электроэнергии, высшие гармоники.

ASSESSMENT OF ELECTRICITY LOSSES IN THE ELECTRIC NETWORKS OF THE TRANS-BAIKAL POWER SYSTEM

Suvorov Ivan Flegontovich, Rybakova Irina Yuryevna, Ivanov Andrey Andreevich,
Dace Danil Aleksandrovich, Kakaurov Sergey Vladimirovich

The questions of estimation of electric power losses in the 35 kV power supply network, including the 35/6 kV power transformer, taking into account the presence of higher harmonics are revealed

Keywords: power losses, modeling of power losses, higher harmonics.

Одной из важнейших составляющих комплекса энергосберегающих мероприятий является снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Разработка и успешное выполнение мероприятий по снижению потерь не возможны без тщательного анализа всех составляющих потерь и причин их появления. К числу дополнительных и мало исследованных факторов, которые значительно влияют на режимы работы электрических систем и потери электроэнергии, относятся некоторые показатели качества электроэнергии.

Актуальность изучения влияния несинусоидальности и несимметрии токов и напряжений обусловлена слабо развитой структурой электрических сетей (особенно это ярко выражено в Забайкальском крае), увеличением количества нагрузок (разработка Удоканского месторождения меди, пуск в эксплуатацию Быстринского ГОКа, расширение добычи золота) и повышением установленной мощности электроприемников с нелинейным и несимметричным характером нагрузок (повышение тяжеловесности пропуска по РЖД железнодорожных составов с использованием электрической тяги на переменном напряжении).

Энергосистема Забайкальского края охватывает территорию Забайкальского края и входит в ОЭС Сибири. Основными потребителями электрической энергии являются население и Забайкальская железная дорога. Забайкальская железная дорога потребляет значительную долю электрической энергии – до 45 % от общего потребления. В Забайкальском крае имеется небольшое количество источников генерации электрической энергии, а это значительно сказывается на потерях в электрических сетях в виду удаленности потребителей от источников генерации. Тяговые подстанции РЖД являются основным источником электрической энергии для небольших населенных пунктов и предприятий горной промышленности Забайкальского края.

Встал вопрос: как высшие гармоники влияют на потери электрической энергии? Нами была выбрана тупиковая электрическая сеть

35 кВ (от тяговой подстанции «Урюм» 220/35/27,5/10 кВ до подстанции «Усть-Кара» 35/6,3 кВ) как наиболее наглядная для отображения вклада высших гармоник в потери электроэнергии.

На основании ранее проведенных исследований качества электрической энергии [1] было выявлено превышение нормативных значений (приведены данные в табл. 1).

Таблица 1

Показатели качества электрической энергии на стороне 35 кВ подстанции «Урюм», %

| Показатель | Время измерений | Измеренные значения для межфазных напряжений | | | Норма |
|------------------|-----------------|--|-------|-------|-------|
| | | AB | BC | CA | |
| $\delta U_{(-)}$ | 100 | 10,51 | 4,33 | 3,97 | 10,00 |
| $\delta U_{(+)}$ | 100 | 12,52 | 13,22 | 13,14 | 10,00 |
| | 95 | 7,41 | 7,72 | 5,46 | 3,00 |
| $K_{U(3)}$ | 100 | 9,50 | 9,30 | 8,40 | 4,50 |
| | 95 | 3,98 | 2,57 | 3,12 | 3,00 |
| $K_{U(5)}$ | 100 | 5,10 | 3,30 | 4,80 | 4,50 |
| | 95 | 5,23 | 3,74 | 3,51 | 2,50 |
| $K_{U(7)}$ | 100 | 6,70 | 4,80 | 5,40 | 3,75 |
| | 95 | 3,67 | 3,04 | 1,95 | 1,00 |
| $K_{U(9)}$ | 100 | 4,70 | 3,90 | 3,00 | 1,50 |
| | 95 | 3,51 | 2,91 | 2,73 | 2,00 |
| $K_{U(11)}$ | 100 | 4,50 | 3,50 | 4,20 | 3,00 |
| | 95 | 4,99 | 3,51 | 3,84 | 1,50 |
| $K_{U(13)}$ | 100 | 6,40 | 4,50 | 4,50 | 2,25 |
| | 95 | 1,95 | 1,41 | 1,41 | 0,30 |
| $K_{U(15)}$ | 100 | 2,50 | 1,70 | 1,70 | 0,45 |
| | 95 | 0,58 | 0,47 | 0,47 | 0,20 |
| $K_{U(15)}$ | 100 | 0,70 | 0,60 | 0,60 | 0,30 |
| | 95 | 1,09 | 0,75 | 0,78 | 1,00 |
| $K_{U(21)}$ | 95 | 6,70 | 5,60 | 5,60 | 4,00 |
| | 100 | 13,40 | 10 | 10 | 6,00 |
| K_U | 95 | 3,40 | | | 2,00 |
| K_{2U} | 100 | 10,99 | | | 4,00 |

В табл. 1 приведены результаты измерений и анализа показателей качества электроэнергии в точке присоединения воздушной линии ВЛ-242 ко 2-ой системе шин 35 кВ тяговой подстанции «Урюм-220/35/27,5/10 кВ». Во время измерений выключатель между 1-й и 2-й секциями шин

35 кВ был включен, т. е. ВЛ-241 и ВЛ-242 были подключены к трансформатору и от этого же трансформатора питалась контактная сеть 27,5 кВ. В конце ВЛ-242 подключен второй трансформатор подстанции «Усть-Кара-35/6 кВ», от которой питаются драги с частотными электроприводами и нагрузка поселка городского типа «Усть-Карское».

Центром питания является тяговая подстанция «Урюм-220/35/27,5/10 кВ» - источник несимметрии и несинусоидальности напряжения и тока, источник гармонических составляющих. Количественные данные, приведенные в таб. 1, подтверждают этот факт. Была поставлена перед нами задача – оценить величину потерь в ВЛ-35 и силовом трансформаторе подстанции «Усть-Кара-35/6 кВ» по отдельным гармоникам отличных от основной и их вклад в суммарные потери электроэнергии.

Моделирование электрической системы выполнялось на основе библиотеки Simulink SimPower System в программе MATLAB. Схема модели приведена на рис.1.

Исходные данные: источник 35 кВ подстанция «Урюм-220/35/27,5/10 кВ», нагрузка трансформатора подстанции «Усть-Кара» принята симметричной и составляла 10 и 30 процентов от номинальной мощности трансформатора – 6300 кВА, при $\cos\varphi = 0,8$. Длина ВЛ-35 кв – 112 км. Моделирование высших гармоник осуществлялось путем изменения частоты на источнике. Коэффициенты гармоник принимались следующие: $K_{U(3)} = 10$; $K_{U(5)} = 5$; $K_{U(7)} = 6,7$; $K_{U(9)} = 4,7$.

Результаты моделирования сведены в таблицы 2–5.

Таблица 2

Потери мощности при нагрузке трансформатора 10 % от его номинальной мощности

| Нагрузка трансформатора S, кВА | Частота, Гц | Потери суммарные | | Потери в линии | | Потери в трансформаторе | |
|--------------------------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр |
| S=504+j378 | 50 | 56 400 | 120 000 | 48 300 | 60 000 | 8 100 | 60 000 |
| S=504+j378 | 50+150 | 57 600 | 141 000 | 49 500 | 62 400 | 8 100 | 78 600 |
| S=504+j378 | 50+250 | 57 600 | 141 000 | 49 500 | 62 400 | 8 100 | 78 600 |
| S=504+j378 | 50+350 | 57 300 | 141 300 | 49 200 | 63 900 | 8 100 | 77 400 |
| S=504+j378 | 50+450 | 56 700 | 127 200 | 48 600 | 61 800 | 8 100 | 65 400 |

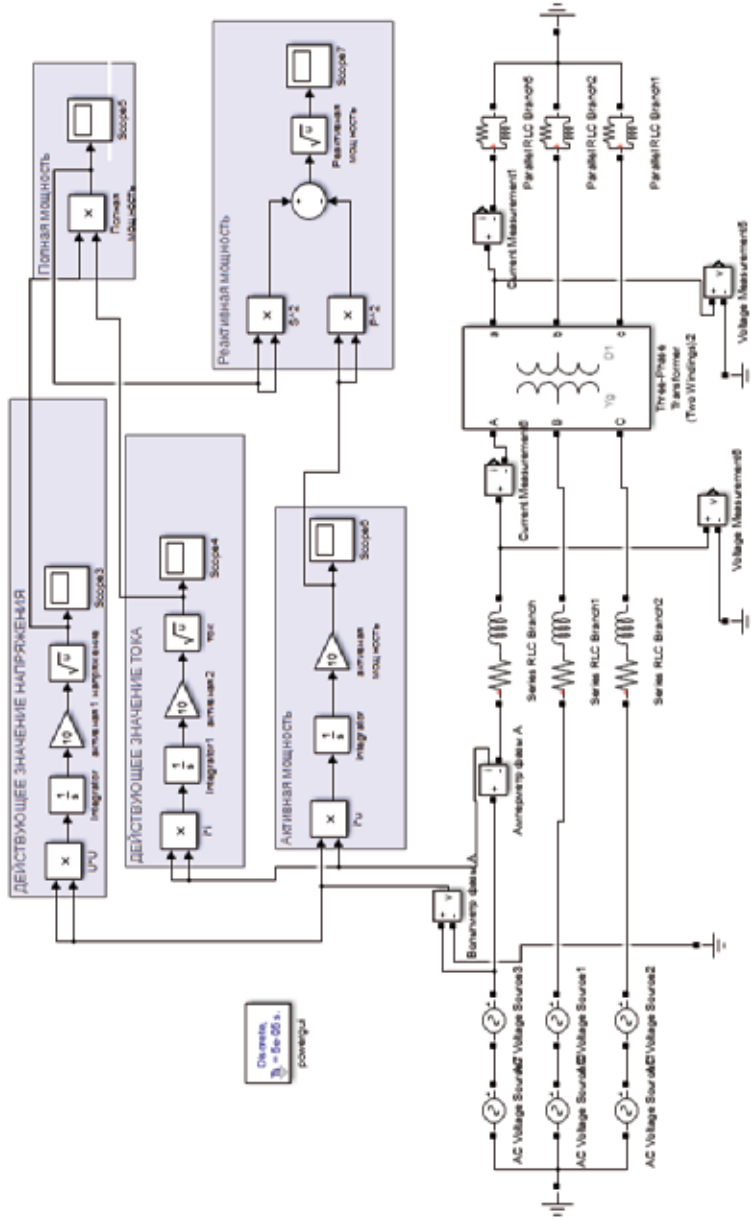


Рис. 1. Модель отходящие линии № 242 системы шин 35кВ тяговой подстанции «Урюм-220/35/27,5/10 кВ»

Таблица 3

Оценка вклада каждой гармоники в потери мощности при нагрузке трансформатора 10 % от его номинальной мощности

| Нагрузка трансформатора S, кВА | Частота, Гц | Потери суммарные | | Потери в линии | | Потери в трансформаторе | |
|---|-------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр |
| S=504+j378 | 50 | 56 400 | 120 000 | 48 300 | 60 000 | 8 100 | 60 000 |
| S=504+j378 | 150 | 1 200 | 21 000 | 1 200 | 2 400 | 0 | 18 600 |
| S=504+j378 | 250 | 1 200 | 21 000 | 1 200 | 2 400 | 0 | 18 600 |
| S=504+j378 | 350 | 900 | 21 300 | 900 | 3 900 | 0 | 17 400 |
| S=504+j378 | 450 | 300 | 7 200 | 300 | 1 800 | 0 | 5 400 |
| $\Delta P_{\text{сум}} (\Delta Q_{\text{сум}})$ | | 3 600 | 70 500 | 3 600 | 10 500 | 0 | 60 000 |
| $\Delta P_{\text{сум}} (\Delta Q_{\text{сум}}) / \Delta P_{\text{осн}} (\Delta Q_{\text{осн}})$, (%) | | 6,38 | 58,75 | 7,45 | 17,50 | 0,00 | 100,00 |

Таблица 4

Потери мощности при нагрузке трансформатора 30 % от его номинальной мощности

| Нагрузка трансформатора S, кВА | Частота, Гц | Потери суммарные | | Потери в линии | | Потери в трансформаторе | |
|--------------------------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр |
| S=1512+j1134 | 50 | 335 100 | 544 800 | 318 600 | 397 500 | 16 500 | 147 300 |
| S=1512+j1134 | 50+150 | 349 200 | 638 400 | 332 100 | 420 300 | 17 100 | 218 100 |
| S=1512+j1134 | 50+250 | 336 600 | 556 500 | 320 100 | 402 300 | 16 500 | 154 200 |
| S=1512+j1134 | 50+350 | 336 300 | 560 100 | 319 800 | 406 200 | 16 500 | 153 900 |
| S=1512+j1134 | 50+450 | 335 700 | 551 100 | 319 200 | 401 700 | 16 500 | 149 400 |

Таблица 5

Оценка вклада каждой гармоники в потери мощности при нагрузке трансформатора 30 % от его номинальной мощности

| Нагрузка трансформатора S, кВА | Частота, Гц | Потери суммарные | | Потери в линии | | Потери в трансформаторе | |
|---|-------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр | ΔP , Вт | ΔQ , ВАр |
| S=1512+j1134 | 50 | 335 100 | 544 800 | 318 600 | 397 500 | 16 500 | 147 300 |
| S=1512+j1134 | 150 | 14 100 | 93 600 | 13 500 | 22 800 | 600 | 70 800 |
| S=1512+j1134 | 250 | 1 500 | 11 700 | 1 500 | 4 800 | 0 | 6 900 |
| S=1512+j1134 | 350 | 1 200 | 15 300 | 1 200 | 8 700 | 0 | 6 600 |
| S=1512+j1134 | 450 | 600 | 6 300 | 600 | 4 200 | 0 | 2 100 |
| $\Delta P_{\text{сум}} (\Delta Q_{\text{сум}})$ | | 17 400 | 126 900 | 16 800 | 40 500 | 600 | 86 400 |
| $\Delta P_{\text{сум}} (\Delta Q_{\text{сум}}) / \Delta P_{\text{осн}} (\Delta Q_{\text{осн}})$, (%) | | 5,19 | 23,29 | 5,27 | 10,19 | 3,64 | 58,66 |

Потери электроэнергии за год только от 3, 5, 7 и 9 гармоник (из девяти действующих, см. табл. 1) составили: 1) при 10 процентной нагрузке $\Delta W = 30\,758$ кВт*час (84 586 руб. – в ценах декабря 2020 года); 2) при 30 процентной нагрузке $\Delta W = 148\,666$ кВт*час (408 830 руб. – в ценах декабря 2020 года).

На основании моделирования узла нагрузки электрической системы Забайкальского края напряжением 35/6 кВ от подстанции «Урюм-220/35/27,5/10 кВ» к подстанции «Усть-Кара 35/6 кВ» можно сделать следующие выводы:

1. Суммарные активные потери мощности от четырех гармоник для реальных условий эксплуатации подстанции «Усть-Кара 35/6 кВ» колеблются от 5,19 до 6,38 %, а реактивные – от 23,29 до 58,75 %. По нашему мнению, указанные потери могут существенно влиять на электробаланс электрической системы. В связи с этим требуется разработка методики расчета потерь электроэнергии от высших гармоник.

2. Назрел острый вопрос развития электрических сетей Забайкальского края с разработкой фильтро-компенсирующих устройств и методики технико-экономического обоснования расстановки их в узлах.

3. Проблема высших гармоник в электрических сетях не теряет своей актуальности и требует пристального внимания со стороны научно-исследовательских структур, электроизмерительных лабораторий, электрических служб предприятий.

4. МРСК Сибири филиал «Читаэнерго» оплачивает потери за год от четырех гармоник питающего напряжения в электрической сети 35 кВ от подстанции «Урюм-220/35/27,5/10 кВ» до подстанции «Усть-Кара 35/6 кВ», как минимум, от 84 586 руб. до 408 830 руб. (в ценах декабря 2020 года).

Литература

1. Коверникова Л.И., Суднова В.В., Шамонов Р.Г. и др. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению // отв. ред. Воропай Н.И. Новосибирск: Наука, 2017. – 219 с.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Спиридонов Дмитрий Игоревич, Щепкин Сергей Александрович
ФГБОУ ВО «Камышинский Технологический Институт (филиал Волгоградского
государственного технического университета)», г. Камышин, Россия
spiridonov.dmitrij.01@mail.ru,serezha.shchepkin@bk.ru

В данной статье анализируются основные причины возникновения дефектов и повреждений на воздушных линиях электропередач, рассматриваются дистанционные методы поиска повреждённых участков линии, а также предлагаются способы повышения точности их работы.

Ключевые слова: воздушные линии, причины повреждений, обнаружение мест повреждений, дистанционные методы

CAUSES OF DAMAGE TO OVERHEAD POWER LINES AND REMOTE METHODS OF THEIR ELIMINATION

Spiridonov Dmitry Igorevich, Shchepkin Sergey Aleksandrovich

In this article, we explain the main causes of defects and damage on overhead power lines, talk about remote methods for searching for damaged sections of the line, and suggest ways to improve the accuracy of their operation.

Keywords: aerial power lines, causes of damage, detection of damage sites, remote methods

Важность скорости и точности в обнаружении нарушений работы воздушных линий трудно переоценить. Недостаточно высокий уровень разработки устройств по обнаружению и диагностике мест повреждений, подготовки, компетенции при работе с ними может привести к серьёзному недоотпуску электроэнергии и большим экономическим потерям. Целью данной статьи является краткое освещение причин, приводящих к дефектам в работе ВЛ, обзор методов и устройств поиска обнаружения мест повреждений, предложения по совершенствованию точности и комплексному улучшению некоторых из них.

Причинами повреждаемости воздушных линий электропередачи может множество факторов, обусловленных искусственными причинами и естественными, или же природными.

Среди естественных следует выделить атмосферные перенапряжения, вызываемые грозовыми явлениями. Колебания температуры

воздуха, при которых низкая вызывает повышение механических напряжений в точках крепления проводов, обусловленное уменьшением их длины, а высокая приводит к сгоранию. Ветер, кроме того, что и непосредственно сам увеличивает механическую нагрузку на провода, также является причиной других явлений, приводящих к повреждению линии, таких как вибрации и «пляска» проводов. Нельзя не упомянуть и гололёдные образования, защита от образования которых наиболее актуальна в условиях умеренного климатического пояса.

К искусственным причинам, вызывающим сбой в работе ВЛ, относятся противозаконные действия, направленные на причинение умышленного повреждения линии, в последующем вызвавшие отключение защитной автоматики. Результатом этого является хищение электропроводов.

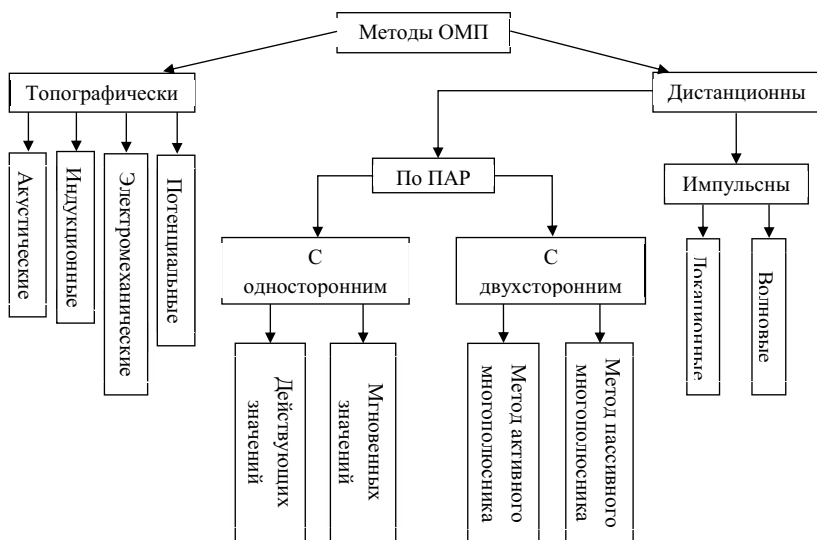


Рис. 1. Методы определения место повреждений линий электропередач

Для обнаружения мест повреждений, вызываемых вышеперечисленными причинами, и успешного их устранения существует несколько способов, которые, в широком смысле, можно классифицировать по двум группам: дистанционные и топографические [2].

Совокупность методов, позволяющих определять место повреждения, измеряя расстояние с обоих концов линии – это дистанционный метод ОМП.

Локационный метод позволяет определить длину кабельной линии и зону, в которой находится место повреждения, что уменьшает время нахождения точного места. Схож с импульсным методом и базируется на измерении интервала времени, за который сигнал проходит путь от места отправления до повреждённого места. Различие заключается в том, что при применении локационного метода в линию отсылаются зондирующие импульсы, в импульсном – электромагнитные волны. Недостатком является частая невозможность получить отражённый сигнал в случаях повреждения воздушной линии.

Волновой метод позволяет проводить оценку параметров переходных процессов. Суть метода сводится к определению интервала времени, за который электромагнитные волны, возникающие в месте повреждения, достигнут обоих концов линии, с установленными на них датчиками. Однако важно отметить, что несмотря на простоту данной методики, присутствует и отрицательный фактор в виде чувствительности к помехам разного рода.

Данные методы ОМП делятся на односторонние и двухсторонние. Односторонние, позволяющие определять расстояние до места КЗ с одного конца линии, менее распространены вследствие наличия больших погрешностей в своей работе, частично это объясняется и тем, что принцип односторонних методов основан на анализе лишь приближённой информации. Погрешности связаны с переходным сопротивлением, значение которого в месте повреждения не является постоянным, а также обусловлены и условиями протяжённости линии: различная высота местности и рельеф, разные типы опор, возможные вставки проводов других сечений.

В двухсторонних методах используется оборудование, установленное на концах воздушной линии. Если уровень синхронизации обоих устройств достаточно высок, то можно добиться намного более высокой точности обнаружения места повреждения, чем при использовании односторонних методов.

Примером выражения, используемого при применении двухстороннего ОМП, может служить уравнение, позволяющее определить место повреждения с помощью симметричных составляющих токов обратной или нулевой последовательностей [4]:

$$n = \frac{i_2'' \cdot (\underline{Z}_{2C}'' + \underline{Z}_{2Л}'') - i_2' \cdot \underline{Z}_{2C}' }{\underline{Z}_{2Л}'' \cdot (i_2' + i_2'')},$$

$$n = \frac{i_0'' \cdot (\underline{Z}_{0C}'' + \underline{Z}_{0Л}'') - i_0' \cdot \underline{Z}_{0C}'}{\underline{Z}_{0Л}'' (i_0' + i_0'')},$$

где i_2' и i_2'' – ток обратной последовательности аварийного режима начала и конца линии, соответственно; i_0' и i_0'' – ток нулевой последовательности аварийного режима начала и конца линии, соответственно; $\underline{Z}_{0Л}$ и $\underline{Z}_{2Л}$ – полное сопротивление нулевой и обратной последовательности, соответственно; \underline{Z}_{0C}' и \underline{Z}_{0C}'' – сопротивление нулевой последовательности системы ближнего и удалённого конца воздушной линии соответственно; \underline{Z}_{2C}' и \underline{Z}_{2C}'' – сопротивление обратной последовательности системы ближнего и удалённого конца воздушной линии, соответственно;

Следовательно, дистанционные методы ОМП по ПАР удовлетворяет требованию быстроты ОМП, но с другой – обладает ограниченной точностью. Как правило, расчет уставок ОМП базируется на значениях токов короткого замыкания, которые напрямую зависят от продольных и поперечных параметров защищаемой линии электропередач. Поэтому для обеспечения необходимой точности расчётов, необходимо анализировать какие внешние параметры оказывают влияния на ВЛЭП и учитывать данное воздействие при расчёте уставок ОМП.

Литература

1. Айзенфельд А.И. Методы определения мест короткого замыкания на воздушных линиях электропередачи при помощи, фиксирующих приборов. М.: Энергия; 2014.
2. Айзенфельд А.И., Шалыт Г.М. Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлениями. 2-е изд. М: Энергоатомиздат, 1988.
3. Лямец Ю.Я., Ильин В.А., Подшивалин Н.В. Программный комплекс анализа аварийных процессов и определения места повреждения линии электропередачи // Электричество. 1996. № 12. С. 2–7;
4. Шалыт Г.М., Айзенфельд А.И., Adcuibiu А.С. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима // под ред. Г.М. Шалыта. 2-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 1983.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА САПР СХЕМ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СО СБОРНЫМИ ШИНАМИ ПОДСТАНЦИЙ 35 кВ И ВЫШЕ

Утешева Анастасия Анатольевна, Корнилов Геннадий Петрович,
Варганова Александра Владимировна
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова» Магнитогорск, Россия
aleksandra-khlamova@yandex.ru

В работе приведен алгоритм автоматизированного построения возможных компоновок схем открытых распределительных устройств со сборными шинами. Разработанный алгоритм реализован в САПР ОРУ CAD.

Ключевые слова: САПР, подстанция, распределительное устройство, компоновка, алгоритм, электроэнергетика

DEVELOPMENT OF A CAD ALGORITHM FOR SWITCHING DEVICES WITH ASSEMBLY BUSES OF OPEN DISTRIBUTION DEVICES FOR 35 kV AND ABOVE

Utesheva Anastasia Anatolyevna, Kornilov Gennady Petrovich,
Varganova Alexandra Vladimirovna

The paper presents an algorithm for the automated construction of possible layouts of open switchgear circuits with busbars. The developed algorithm is implemented in the ORU CAD.

Keywords: CAD, substation, switchgear, layout, algorithm, electricity

Современные темпы строительства новых объектов городского и промышленного сектора предполагают одновременный рост нагрузок и ввод в эксплуатацию новых точек подключения к источникам электроэнергии. При этом ввод в эксплуатации подстанций, в некоторых случаях, может быть перенес на более поздний срок, в связи с тем, что на стадии проектирования «сорваны сроки». Объясняется это большой загрузкой проектировщиков, исправлением большого числа ошибок после экспертизы. С целью повышения эффективности функционирования работы проектных организаций широко применяются различные программные продукты.

На кафедре электроснабжения промышленных предприятий разрабатывается и внедряется САПР «ОРУ CAD» [1], позволяющий:

– осуществлять автоматизированный выбор схем распределительных устройств, учитывая при этом нормы и правила проектирования [2];

- строить однолинейные схемы распределительных устройств подстанций напряжением 35 кВ и выше [3];
- определять наилучший вариант схемы распределительного устройства [4];
- оценивать надежность распределительных устройств [5];
- составлять пакет проектной документации [6].

Кроме того в настоящее время разрабатывается подход по определению возможных и наилучших компоновок схем распределительных устройств. На рис. 1 приведен фрагмент блок-схемы алгоритма построения схемы с одной рабочей секционированной системой шин с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей

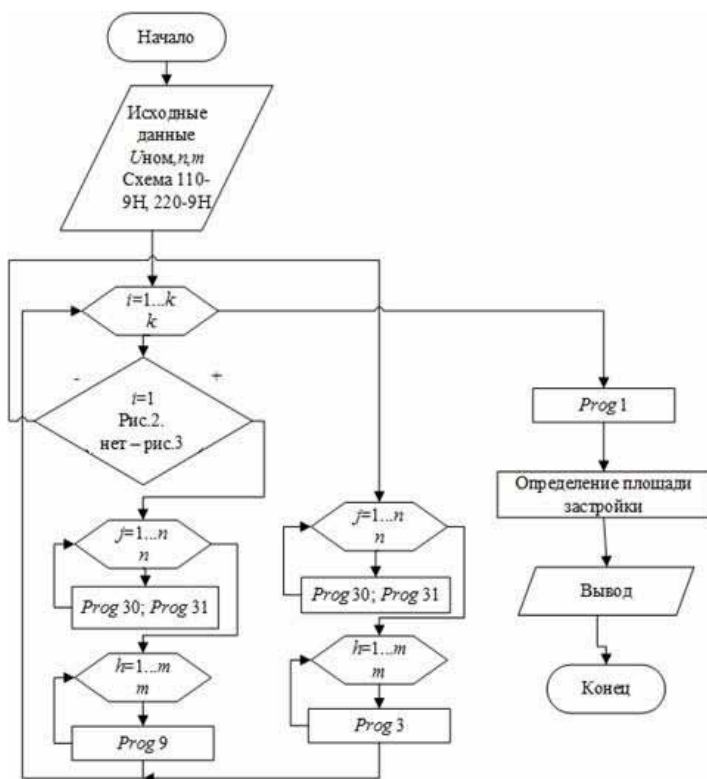


Рис. 1. Блок-схема алгоритма для схемы с одной рабочей секционированной системой шин с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей

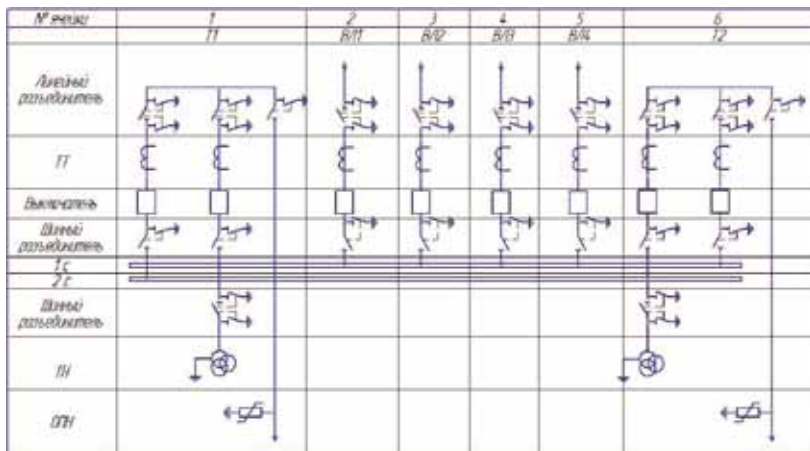


Рис. 2. Одна рабочая секционированная система шин с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей в однорядном исполнении

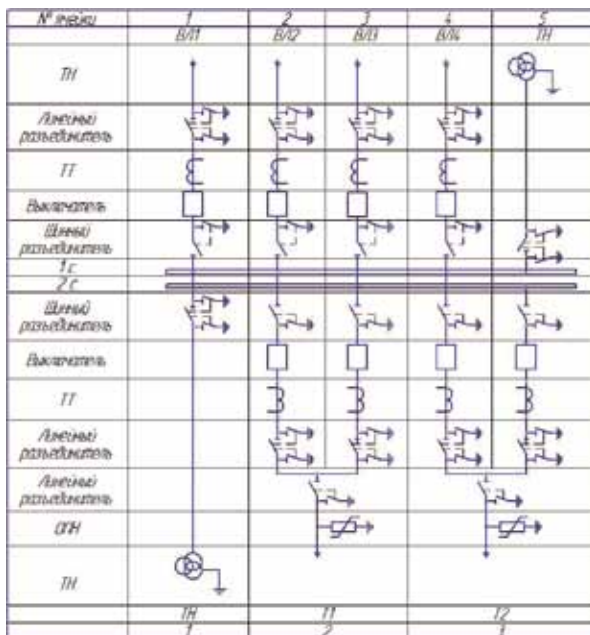
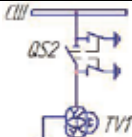
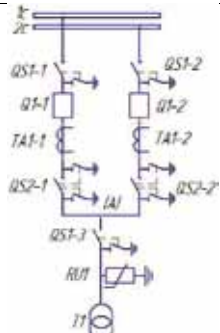
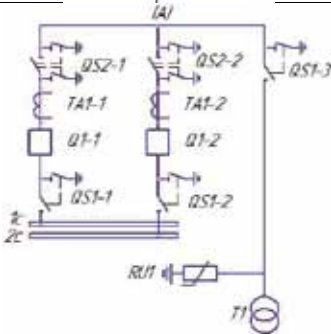


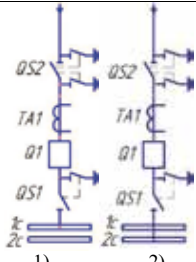
Рис. 3. Одна рабочая секционированная система шин с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей в двурядном исполнении

Отличительной особенностью разработанного подхода, является модульность. Для каждой возможной ячейки написан свой алгоритм по отрисовке, что позволяет исключить повторяющихся действий в коде, упростить его. Общий подход по составлению алгоритмов отдельных ячеек приведен в таблице 1. В таблице отображены коды согласованные с рис. 1.

Таблица 1

Элементы схемы распределительных устройств

| Схема | Алгоритм отрисовки типовых ячеек оборудования РУ ВН |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Ячейки трансформаторов напряжения | |
|  | <p>СШ -> QS2 -> TV1 = Prog1 (110-9, 110-12, 110-13, 110-13Н, 110-12Н, 110-14, 110-9Н, 110-9АН, 220-9, 220-12, 220-13, 220-13Н, 220-12Н, 220-14, 220-9Н, 220-9АН)</p> |
| Ячейки силовых трансформаторов | |
|  | <p>1с -> QS1-1 -> Q1-1 -> TA1-1 -> QS2-1 -> (A) 2с -> QS1-2 -> Q1-2 -> TA1-2 -> QS2-2 -> (A) (A) -> QS1-3 -> (RU1) -> T1 = Prog3 (110-9Н, 220-9Н)</p> |
|  | <p>СШ1 -> QS1-1 -> Q1-1 -> TA1-1 -> QS2-1 -> (A) СШ2 -> QS1-2 -> Q1-2 -> TA1-2 -> QS2-2 -> (A) (A) -> QS1-3 -> (RU1) -> T1 = Prog9 (110-9Н, 220-9Н)</p> |

| 1 | 2 |
|---|---|
|  | <p>Ячейка линий</p> <p>1) 1с ->Q51 ->Q1 ->TA1 ->Q52 = Prog30 (35-9, 110-9, 220-9)</p> <p>2) 2с ->Q51 ->Q1 ->TA1 ->Q52 = Prog31 (35-9, 110-9, 220-9)</p> |

Таким образом, разработанный алгоритм, реализованный в оригинальном программном продукте в целом позволит сократить время проектирования и дает возможность проектировщикам обосновать решения о принятии наилучшего варианта схемы распределительного устройства.

Литература

1. Варганова А.В., Панова Е.А., Хатюшина Т.В. и др. ОПУ CAD// Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018660517, 23.08.2018. Заявка № 2018618175 от 30.07.2018.
2. Панова Е.А., Варганова А.В., Хатюшина Т.В. и др. Автоматизированный выбор схем распределительных устройств подстанций с высшим напряжением 35–220 кВ в условиях системы электроснабжения промышленного предприятия // В сборнике: Электротехнические комплексы и системы. Материалы Международной научно-практической конференции, 2018. С. 174–176.
3. Варганова А.В., Панова Е.А., Кононенко В.С. Общие принципы построения однолинейных схем открытых распределительных устройств 35–750 кВ в «ОПУ CAD» // В сборнике: Фёдоровские чтения, 2018. XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной, 2018. С. 193–200.
4. Варганова А.В., Ирихов А.С. Автоматизированное технико-экономическое сравнение вариантов схем открытых распределительных устройств подстанций 35-220 кВ с использованием «ОПУ CAD» // В сборнике: Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 73–76.

5. Варганова А.В., Ирихов А.С. Оценка структурной надежности схем со сборными шинами открытых распределительных устройств // В сборнике: Электротехнические комплексы и системы. Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 205–209.

6. Хатюшина Т.В., Варганова А.В., Панова Е.А. Составление спецификаций электрических однолинейных схем средствами «ОРУ САД» // В сборнике: Энергетические и электротехнические системы. Международный сборник научных трудов. Магнитогорск, 2018. С. 5–10.

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ НА РАБОТУ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Федяй Олег Валерьевич, Бычков Александр Владимирович,
Вахнина Вера Васильевна

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти, Россия
o.fedyai@yandex.ru, omgwtf955@gmail.com, vvvahnina@yandex.ru

С ростом масштабов электросетей геоиндуцированные токи, генерируемые геомагнитными бурями, стали одним из факторов, вызывающих масштабные перебои в работе электросетей. В данной статье проанализирован механизм потерь реактивной мощности в силовом трансформаторе при воздействии ГИТ.

Ключевые слова: геоиндуцированный ток, ГИТ, силовой трансформатор, магнитопровод, реактивная мощность, геомагнитная буря.

INFLUENCE OF GEOMAGNETIC STORM ON THE OPERATION OF POWER TRANSFORMERS

Fedyai Oleg Valerievich, Bychkov Alexander Vladimirovich, Vakhnina Vera Vasilievna

With the growing scale of power grids, geo-induced currents generated by geomagnetic storms have become one of the factors causing large-scale power outages. This article analyzes the mechanism of reactive power losses in a power transformer under the influence of a GIC.

Keywords: geo-induced current, GIC, power transformer, magnetic circuit, reactive power, geomagnetic storm.

При геомагнитной буре генерируется геоиндуцированный ток (ГИТ) в контуре, состоящем из линии электропередачи ЛЭП, силовых трансформаторов Т1 и Т2, заземленных на обоих концах, и поверхности земли (рис. 1).

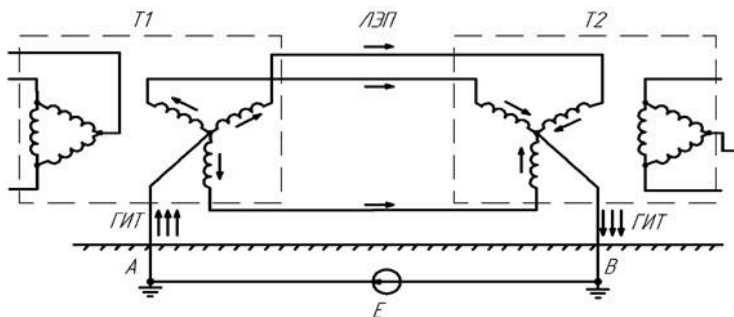


Рис. 1. Сценарий проникновения ГИТ в нейтраль силового трансформатора

Когда ГИТ протекает через силовой трансформатор, это вызывает насыщение магнитной системы трансформатора, что приводит к увеличению тока возбуждения, появлению гармоник и росту потребления реактивной мощности силовым трансформаторе. Возникает дефицит реактивной мощности в электрической сети, сопровождающийся нестабильностью напряжения, что может вызвать лавину напряжения [1]. Если вся энергосистема не будет эффективно регулироваться, произойдет крупномасштабное аварийное отключение, как, например, отключения электрической сети в Квебеке 13–14 марта 1989 г. и 30 октября 2003 г. в Мальмё северная Швеция. Кроме того, энергосистемы таких стран, как Великобритания, Финляндия, Китай, Бразилия, Южная Африка и Япония, также в различной степени пострадали от геомагнитных бурь.

Влияние геомагнитных бурь на нарушение баланса реактивной мощности в электрической сети существенно связано со значением ГИТ. При тех же самых значениях напряженности геоэлектрических полей (В/км), ГИТ в протяженной высоковольтной электрической сети будет больше, что, скорее всего, приведет к значительному дефициту реактивной мощности.

При протекании ГИТ по заземленным обмоткам силового трансформатора, создаваемый в магнитопроводе магнитный поток постоянным током будет суммироваться с магнитным потоком переменного тока, образуя суммарный поток Φ . Степень насыщения магнитопровода силового трансформатора в первом полупериоде значительно увеличивается, в то время как поток во втором полупериоде ослабевает, это называется полупериодным насыщением [2]. На рисунке 2 показаны магнитные характеристики силового трансформатора в полупериоде. На рисунке 2 приняты обозначения: Φ_0 – значение потока в линейной

области характеристики, соответствующей току возбуждения i_{m0} ; Φ_{DC} – магнитный поток, создаваемый ГИТ. Тогда суммарный поток:

$$\Phi = \Phi_{DC} + \Phi_0$$

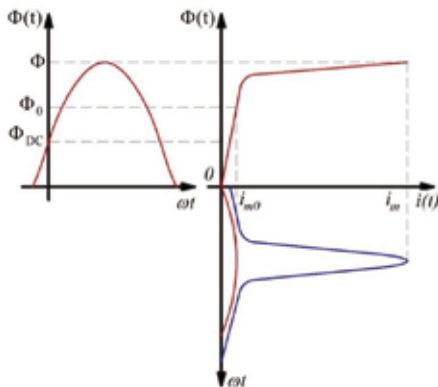


Рис. 2. Связь между током возбуждения и магнитным потоком от ГИТ в заземленной обмотке силового трансформатора

При работе силовых трансформаторов в области глубокого насыщения происходит искажение формы кривой и увеличение значения тока возбуждения. Поэтому силовые трансформаторы, работающие с полупериодным насыщением из-за ГИТ, потребляют значительно больше реактивной мощности на намагничивание магнитопровода. Потребление реактивной мощности силовым трансформатором увеличивается линейно с ростом ГИТ. Увеличение потребления реактивной мощности силовым трансформатором может стать причиной дефицита реактивной мощности в энергосистеме и, как следствие, снижения напряжения и запаса устойчивости, что приведет к развитию системной аварии и нарушению электроснабжения потребителей.

Срок службы силового трансформатора зависит на прямую от его грамотной эксплуатации, а перегрев силового трансформатора может значительно сократить его срок службы. И чтобы держать температуру в допустимых значениях иногда приходится вводить ограничения по передаваемой мощности или специально повышать предельное значение установленной мощности самого силового трансформатора.

Для обеспечения этих условий на практике вводится добавочный коэффициент «К». Коэффициент «К» одобрен Европейским комитетом по стандартизации «CENELEC». Расчет коэффициента осуществляется по формуле 1.

$$K = \sqrt{1 + \frac{e}{1+e} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{RMS}}\right) \cdot \sum_{n=2}^{40} n^q \cdot \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}, \quad (1)$$

где I_1 – сила тока первой гармоники; I_{RMS} – среднеквадратичное значение тока; e – коэффициент зависящий от потерь в меди в силовом трансформаторе; q – коэффициент зависящий от потерь в железе в силовом трансформаторе; n – порядковый номер гармоники; I_n – сила тока n -ой гармоники.

В качестве модели была рассмотрен силовой трансформатор с номинальной полной мощностью 1 МВА. Был произведён расчет данного коэффициента. По результатам расчета $K = 1,7$. $\cos\varphi_{нагрузки} = 0,8$. Исходя из исходных данных, можно рассчитать какую активную мощность допускается подключить к силовому трансформатору. Формула расчета активной мощности представлена ниже:

$$P = \frac{S \cdot \cos\varphi}{K} = \frac{1000 \cdot 0,8}{1,7} = 0,47 \text{ MВт}. \quad (2)$$

Так же был произведён расчет КПТ. При протекании геомагнитной бури предельное значение коэффициента загрузки обмотки высокого напряжения силового трансформатора составляет 1,23. Квазипостоянные токи могут вызвать перегрев обмоток и тем самым не произойдет отключение силового трансформатора газовой защитой. Следовательно, можно сделать вывод, что на практике, мощность силового трансформатора чуть ли не в 2 раза, оказывается меньше номинального значения. Влияние высокочастотных гармоник, может быть одним из источников перегрева силового трансформатора, так как высокочастотные гармоники, способствуют образованию вихревых токов в обмотках силового трансформатора.

Литература

1. Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Шаповалов В.А. и др. Механизмы воздействия квазипостоянных геоиндуцированных токов на электрические сети: монография. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 256 с.

2. Успенский М.И. Основные понятия и пути влияния геомагнитных штормов на электроэнергетическую систему // Известия Коми научного центра УрО РАН. № 4 (28). Сыктывкар, 2016. С. 112–124.

3. Вахнина В.В., Кретов Д.А. Определение допустимых уровней геоиндуцированных токов для обеспечения работоспособности силовых трансформаторов при геомагнитных бурях // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2012. С. 1–7.

УДК 621.316.94

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ВЫСШИМИ ГАРМОНИКАМИ И ФАЗОВЫМИ СДВИГАМИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Фетисов Леонид Валерьевич, Маврин Данил Геннадьевич,
Купоросов Александр Владимирович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
leonidfetisov@mail.ru, xxx2013.x@yandex.ru, skuporosov@mail.ru

В статье рассмотрен один из способов борьбы с высшими гармониками и сдвигами фаз на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: ДКИН, гармоника, сдвиг фаз, промышленные предприятия, качество электроэнергии, электроприемник.

WAYS TO DEAL WITH HIGHER HARMONICS AND PHASE SHIFTS IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Fetisov Leonid Valeryevich, Mavrin Danil Gennadevich,
Kuporosov Aleksandr Vladimirovich

The article considers one of the ways to deal with higher harmonics and phase shifts in industrial enterprises.

Keywords: DKIN, harmonic, phase shift, industrial enterprises, power quality, electric receiver.

Все чаще промышленные предприятия сталкиваются с задачей обеспечения качественной электроэнергией своих электропотребителей. Этим потребителем электрической энергии часто являются очень ответственные химические и технологические процессы. Любой сдвиг фаз, сбой в питании, высшие гармоники, любая просадка или скачек напряжения, могут вызвать выход из строя оборудования, порче заготовки внутри агрегата или тех. процесса, и может привести к неисправным последствиям [6].

В век высоких технологий намного более распространёнными становятся нелинейные нагрузки (выпрямители/инверторы, системы бесперебойного питания, в состав которых входит вышеперечисленные компоненты, частотные преобразователи импульсные источники питания, люминесцентные и светодиодные лампы и т. п.). Из-за этих изменений в структуре нагрузки заглавной темой на сегодняшний день стала: «качество электроэнергии»

Прежде всего стоит разобраться с ключевыми электрическими явлениями, которые способствуют выходу из строя оборудования:

- фазовый сдвиг переменного тока и напряжения;
- высшие гармоники.

В трехфазных системах зачастую не получается добиться идеальных условий/параметров. Любая индуктивная/конденсаторная нагрузка в цепи способствует сдвигу фаз.

В идеальной сети будем наблюдать следующую картину, рис.1.

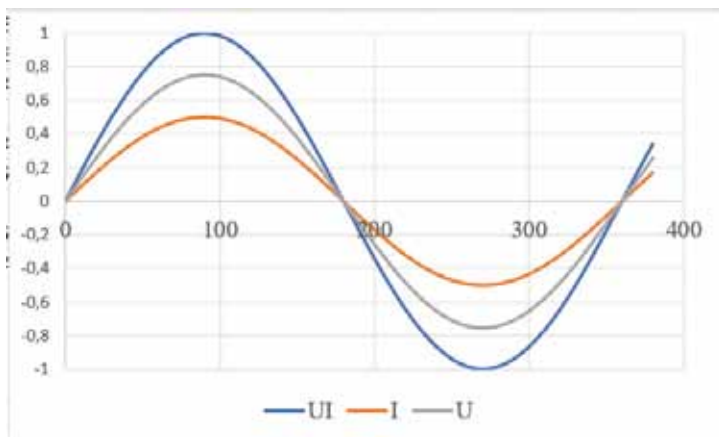


Рис. 1. Напряжение в идеальной сети

Так как для трехфазной цепи справедливо $P = U \cdot I$, при отсутствии сдвига фаз мы получим максимальную мощность [4].

Рассмотри пример, на котором вектор тока отстает от вектора напряжения. Ниже представлен рисунок 2.

Разница между вектором I и U называется углом сдвига фаз.

Исходя из графика синусоид тока и напряжения мы видим, что напряжение проходит через точку ноль в тот момент, когда ток имеет

отрицательное значение. После U достигает максимальной величины и начинает уменьшаться, а ток, несмотря на то что становится положительным, все еще не достигает максимальной величины и продолжает возрастать. Вектор тока постоянно опаздывает по сравнению с вектором напряжения. Между векторами тока и напряжения наблюдается явления сдвига фаз.

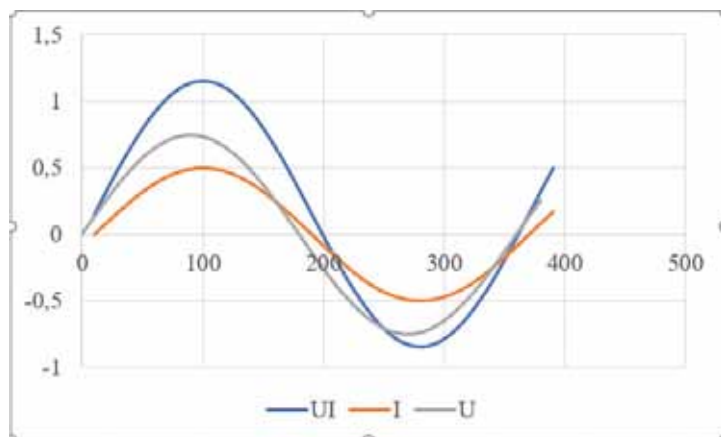


Рис. 2. Отставание вектора тока от вектора напряжения

Чем сильнее сдвиг фаз, чем больше угол между вектором тока и напряжения, тем больше становятся периоды, в которых мощность делается отрицательной, тем самым меньше будет средняя мощность тока.

Далее необходимо понять, что такое «высшие гармоники»?

Если очень просто, то высшие гармоники это вредоносное для электрооборудования явление, возникающее из-за неидеальности сети. Эти гармоники, или искажения идеальной синусоидальной формы тока и напряжения, возникают в сетях переменного тока, зачастую в устройствах с тиристорами, во время подключения нелинейной нагрузки, или при переходном процессе [5].

Допустим, напряжение и ток, генерируемые электрическим источником, максимально близко приближаются по форме к идеальной синусоиде. При включении нелинейных нагрузок, подключенных к электрической цепи, вид синусоиды получает изменения, искажается ее изначальная форма. Гармоники – это производные по частоте от основной синусоиды в 50 Гц, все они являются кратными ее величине [8].

Можно разделить гармоники по главному прицепу, а именно: четные и нечетные. Гармоника 1 – это 50 Гц, 2 – 100 Гц, 3 -150 Гц, 4 – 200 Гц, и т. д. В совокупности, все они являются результирующей формы напряжения и тока, а это значит, что напряжение и ток в сети можно разложить на гармонические составляющие [7].

Причины возникновения гармоник:

1) Силовое электрооборудование – приводы постоянного и переменного тока, высокочастотные плавильные печи, полупроводниковые преобразователи, источники бесперебойного питания (ИБП), преобразователи частоты.

2) Устройства, работающие по принципу формирования электрической дуги – электросварочные установки, дуговые печи, лампы освещения (ДРЛ, люминесцентные и другие).

3) Насыщаемые приборы – двигатели, трансформаторы.

Чем же опасно постоянное появление гармоник в сети? Можно выделить основные пункты, среди которых:

1) Нагрев элементов электрооборудования, выводящий из строя изоляцию двигателей, обмоток трансформаторов, снижающий сопротивление конденсаторов и т.д. При нагревании фазного провода или других токопроводящих элементов в диэлектриках возникают необратимые процессы, снижающие их изоляционные свойства.

2) Меньшая селективность сетей, возможность учащения ложных срабатываний – приводит к отключению автоматов, высоковольтных выключателей и прочих устройств, реагирующих на изменение режима, обусловленное гармониками.

3) Асимметрия в промышленной трехфазной сети.

4) Возникновение шума в сетях связи, влияние на смежные слаботочные и силовые кабели за счет наведенной ЭДС. На величину гармоники ЭДС влияет как расстояние между проводниками, так и продолжительность их приближения.

Не всегда проблему можно решить на высокой и средней стороне, зачастую защиту от сдвигов фаз, высших гармоник, провалов/искажений напряжения ставят непосредственно перед шинами потребителей/нагрузкой. Когда предприятие, помимо провалов напряжения беспокоят еще и его пропадание на срок более 30 секунд, то на помощь приходят источники бесперебойного питания (далее ИБП), батарейный массив которых может продержат нагрузку от 2 минут и до нескольких дней [2]. Правда такое решение не является самым рациональным, и влечет большие

операционные расходы при замене батарейного массива через 5–6 лет эксплуатации. Такие расходы могут составить до 70 % от стоимости всего решения [1]. Если же проблем с пропаданием напряжения нет, то мы смело можем рассматривать динамические компенсаторы искажения напряжения – или ДКИН. ДКИН – это инновационный продукт, разработанный для снижения и исключения влияния электрических помех на важнейшие производственные процессы за счет устранения провалов и непрерывного контроля напряжения сети.

Устройство состоит из выпрямителя, зачастую обратимого, инвертора и трансформатора. Динамический компенсатор искажений напряжения предназначен для компенсации и нейтрализации помех и несимметрии напряжения, а также для регулирования напряжения в случае возможных колебаний и перенапряжений. Кроме того, некоторые устройства ДКИН отслеживают, контролируют и записывают события, происходящие в системе, что позволяет потом просматривать их через систему мониторинга или через панель управления самого устройства [3].

Так как ДКИН может справиться с провалами напряжений до 70 %, имеют высокий КПД до 98,5 %, не требуют замены дорогого батарейного массива, и могут пофазно компенсировать перенапряжения до 20 %, это решение может стать основным решением для промышленных предприятий по компенсации помех и несимметрии напряжения.

Как видно из рис. 3, вне зависимости от того, отстаем ли мы от идеальной синусоиды, или система в режиме перегрузки, ДКНИ позволяет нам всегда выдавать чистую синусоиду на нагрузку.

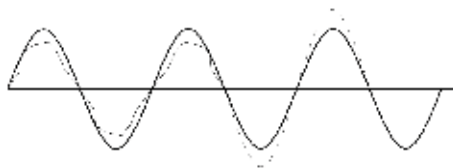


Рис. 3. Применение ДКИН

Справедливости ради, ДКИН достаточно дорогостоящее решение, и не все предприятия готовы инвестировать в подобные системы. За последние годы тенденция меняется, и все больше предприятий приходят к использованию ДКИН [9].

Литература

1. Patrick Donovan, Martin Zacho FAQs for Using Lithium-ion Batteries with a UPS // White Paper 231.

2. Уэн С. Выравнивание заряда батарей обеспечивает долгое время работы и продлевает срок службы. // США: Техас Инструментс, 2010. С. 14.

3. АО Шнайдер Электрик. Компенсация реактивной мощности и активная фильтрация гармоник. Доступно по: URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-category/4300>.

4. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 // Подготовлено ОАО «ВНИИЭ», 2003

5. Пустынников С.В., Сипайлов А.Г. Теоретические основы электротехники, часть 1.

6. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики / № 11–12/2018, С. 99–106.

7. Иванова В.Р., Киселев И.Н. Частотно-регулируемый электропривод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. 21(5). С. 59–70.

8. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Роженцова Н.В. Разработка алгоритма для эффективного управления технологическим процессом промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера TM171PDM27S Schneider Electric // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020;22(2): С. 75–85.

9. Цырук С.А., Березовский В.С. Сравнительный анализ эффективности распределительных сетевых компаний. XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 15–17 ноября 2017 г.) / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 340 с.

10. Секретарев Ю.А., Меняйкин Д.А. Особенности расчетов последствий отказов электроснабжения в распределительных сетях с монопотребителем электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 2. С. 43–50.

К РАСЧЕТУ ТОКА ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Харабурова Маргарита Дмитриевна, Рыжкова Елена Николаевна
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва, Россия

KharaburovaMD@mpei.ru, RyzhkovaYN@mpei.ru

При определении емкостного тока замыкания на землю в сетях с большой двигательной нагрузкой необходимо кроме емкости нулевой последовательности воздушных и кабельных линий учитывать подпитку от двигателей, особенно в случаях, когда суммарный ток замыкания приближается к граничным по выбору режима нейтрали величинам. В статье приведены расчеты предельных длин линий и суммарных мощностей двигателей в окрестности границы смены режима нейтрали, позволяющие избежать ошибок при расчетном определении тока замыкания.

Ключевые слова: емкостной ток замыкания на землю, режим нейтрали, подпитка от двигателей.

TO CALCULATING THE EARTH FAULT CURRENT IN THE NETWORKS OF MEDIUM VOLTAGE

Kharaburova Margarita Dmitrievna, Ryzhkova Elena Nikolaevna

In the process of determining the capacitive earth fault current in networks with a large motor load, in addition to the zero sequence capacitance of overhead and cable lines, it is necessary to take into account the power supply from the motors, especially for cases when the total fault current approaches the boundary values for the choice of the neutral mode. This article contains calculations of the limiting lengths of the lines and the total power of the motors in the vicinity of the border of the neutral mode change, in order to avoid errors in the calculation of the fault current.

Keywords: capacitive earth fault current, mode of neutral, power supply from motors.

Основной причиной возникновения большинства аварий в сетях напряжения 6–35 кВ является однофазное замыкание на землю.

Как правило, определение тока однофазного замыкания на землю в распределительных сетях среднего напряжения сводится к нахождению емкостных токов воздушных и кабельных линий, учетом емкостной подпитки от электродвигателей обычно пренебрегают. Однако, в сетях промышленных предприятий с большой долей двигательной нагрузки использование такого подхода является некорректным, так как реальная величина емкостного тока может давать погрешность порядка 40–60 % по сравнению с расчетными значениями [1].

Аналогичная ситуация характерна также для сетей собственных нужд крупных тепловых электростанций, содержащих мощные двигатели ответственных механизмов. Для электростанций, питающих сети промышленных предприятий с шин генераторного напряжения, в ряде случаев необходим учет емкостного тока гибких и жестких шинопроводов.

Натурные замеры величины однофазного тока предписано производить не реже 1 раза в 6 лет [2], что далеко не всегда выполняется на практике, утому же процесс замера ёмкостного тока, кроме технических трудностей, связан ещё и с некоторой методической неопределенностью. Опыт показывает, что на многих объектах в составе ёмкостного тока сети даже при металлическом ОЗЗ присутствуют не только составляющие промышленной частоты, но и значительные токи высших гармоник. Поэтому в условиях развития сетей и соответственного роста емкостного тока необходимость проведения как можно более точных расчетов этой величины весьма актуальна.

Тем более актуальной точность расчетов становится в окрестности нормируемых ПУЭ величин емкостного тока для изменения режима нейтрали (табл. 1), поскольку учет дополнительной подпитки может обусловить это изменение.

Правильный выбор вида заземления в сетях 6–35 кВ позволяет уменьшить величину тока замыкания на землю, снизить скорость восстановления напряжения в месте замыкания после погасания дуги и уменьшить уровень перенапряжений при повторных зажиганиях дуги.

Таблица 1

Допустимые токи замыкания на землю

| Номинальное напряжение, кВ | Сети, не имеющие железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи | | | | Сети собственных нужд ТЭС |
|-------------------------------------|--|----|-------|----|---------------------------|
| | 3–6 | 10 | 15–20 | 35 | 6–20 |
| Ёмкостной ток замыкания на землю, А | 30 | 20 | 15 | 10 | 5 |

Ток однофазного замыкания на землю без учета активной составляющей определяется суммарной емкостью нулевой последовательности:

$$I_{C\Sigma} = 3 \cdot \omega \cdot U_{\phi} \cdot C_{\Sigma}. \quad (1)$$

Емкостной ток линии:

$$I_{Cл} = 3 \cdot \omega \cdot U_{\phi} \cdot C_{0л} \cdot L = 3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{\phi} \cdot C_{0л} \cdot L. \quad (2)$$

Для сетей исключительно с кабельными ЛЭП ток замыкания на землю можно определить по эмпирической формуле:

$$I_{3\Sigma} = \frac{\sum_{i=1} (95 + 2,84q_i) \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot l_i}{2200 + 6q_i}, \quad (3)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное линейное напряжение сети, кВ; l_i – длина кабельной линии, км; q_i – сечение жилы кабеля, мм².

Емкость фазы на землю для высоковольтных двигателей, для неявнополюсных синхронных двигателей и асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором приближенно определяется по формуле:

$$C_{0эд} = \frac{0,0187 \cdot S_{\text{НОМ}} \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{U_{\text{НОМ}} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_{\text{НОМ}})}}. \quad (4)$$

Для остальных типов электрических двигателей:

$$C_{д} = \frac{40 \cdot \sqrt[4]{S_{\text{НОМ}}^3} \cdot 10^{-9}}{3 \cdot (U_{\text{НОМ}} + 3,6) \cdot \sqrt[3]{n_{\text{НОМ}}}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{НОМ}}$ – номинальная частота вращения ротора (об/мин).

Предельная длина кабельных линий, при которой емкостной ток не превышает допустимых значений и можно использовать режим изолированной нейтрали в сетях общего назначения и собственных нужд тепловых электростанций, и суммарная мощность двигателей таких сетей определяется как:

$$L = \frac{I_{Cл}}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{\phi} \cdot C_{0л}},$$

$$C_{0эд} = \frac{I_{Cэд}}{3 \cdot \omega \cdot U_{\phi}},$$

$$S_{\text{ном}} = \frac{C_{0\text{эд}} \cdot 1,2 \cdot \sqrt{U_{\text{ном}} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_{\text{ном}})}}{0,0187 \cdot 10^{-6}}$$

В качестве примера рассмотрена некая условная сеть, выполненная СПЭ-кабелями сечением 120 мм^2 , емкостные составляющие тока замыкания на землю кабельных линий и электродвигателей принимаются на уровне:

$$I_{\text{Сл}} \leq (0,95 - 0,98) \cdot I_{\text{С}\Sigma}$$

$$I_{\text{Сэд}} \geq (0,02 - 0,05) \cdot I_{\text{С}\Sigma}$$

Полученные значения сведены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Длины кабельных линий в окрестностях граничных значений токов замыкания

| | Номинальное напряжение, кВ | Сечение кабеля F, мм^2 | $C_{0\text{л}}$, мкФ/км | $I_{\text{С}\Sigma}$, А | Емкостной ток линии $I_{\text{л}}$, А | Длина линии L , км |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|----------------------|
| Сети промышленных предприятий | 6 | 120 | 0,45 | 30 | 28,5 – 29,4 | $\leq 19,4 - 20,0$ |
| | 10 | | 0,35 | 20 | 19 – 19,6 | $\leq 9,9 - 10,3$ |
| Сети собственных нужд ТЭС | 10 | | 0,35 | 5 | 4,75 – 4,9 | $\leq 2,5 - 2,6$ |

Примечание: для кабелей с бумажно-масляной изоляцией, обладающих по сравнению с СПЭ-кабелями меньшими емкостями, длины линий будут пропорционально выше.

Таблица 3

Максимальная суммарная мощность электродвигателей

| | Номинальное напряжение, кВ | Емкостной ток двигателя $I_{\text{эд}}$, А | $C_{0\text{эд}}$, мкФ | Суммарная мощность двигателей S_{Σ} , МВА |
|-------------------------------|----------------------------|---|------------------------|--|
| Сети промышленных предприятий | 6 | 0,6 – 1,5 | 0,183 – 0,459 | $\geq 35,14 - 87,85$ |
| | 10 | 0,4 – 1 | 0,073 – 0,183 | $\geq 20,01 - 50,03$ |
| Сети собственных нужд ТЭС | 10 | 0,1 – 0,25 | 0,018 – 0,046 | $\geq 5,00 - 12,51$ |

Из данных по мощности двигательной нагрузки можно сделать вывод о том, что для реальных сетей общего назначения 6 кВ такие мощности нагрузки вряд ли характерны, и учет подпитки от двигателей дает очень незначительную долю в общем токе замыкания. А вот для сетей собственных нужд электростанций и сетей генераторного напряжения такие мощности двигателей вполне вероятны.

Известно, что в качестве привода ответственных механизмов нужд энергоблоков тепловых электростанций в основном используются асинхронные двигатели мощностью от 200 до 8000 кВт напряжением 6 кВ непосредственно на площадке ТЭС и 10 кВ – на удаленных объектах. Причем, синхронные двигатели не получили широкого распространения в системах собственных нужд [3].

Аналогичным способом определяются предельные длины кабельных линий для реальных сетей, содержащих кабельные линии различных сечений (табл. 4).

Таблица 4

Длины кабельных линий в окрестностях граничных значений токов замыкания при различном сечении кабеля

| Номинальное напряжение сети, кВ | Сечение кабеля F , мм ² / относительная доля кабеля данного сечения | $C_{ол}$, мкФ/км | $I_{с\Sigma}$, А | Емкостной ток линии $I_{л}$, А | Длина линии L , км |
|---------------------------------|--|-------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------|
| 6 | 95/0,2 | 0,42 | 30 | 5,7 | $\leq 4,16$ |
| | 120/0,6 | 0,45 | | 17,1 | $\leq 11,64$ |
| | 150/0,1 | 0,5 | | 2,85 | $\leq 1,75$ |
| | 240/0,1 | 0,59 | | 2,85 | $\leq 1,48$ |
| 10 | 95/0,2 | 0,32 | 20 | 3,8 | $\leq 2,18$ |
| | 120/0,6 | 0,35 | | 11,4 | $\leq 5,98$ |
| | 150/0,1 | 0,38 | | 1,9 | $\leq 0,92$ |
| | 240/0,1 | 0,46 | | 1,9 | $\leq 0,76$ |

Очевидно, что в случае превышения полученных значений длины кабельных линий при фиксированной мощности двигательной нагрузки, либо максимальной суммарной мощности электродвигателей при неизменной емкости сети решение о выборе/изменении режима нейтрали будет определяться именно точностью расчетной величины тока замыкания.

При выборе резистивного заземления нейтрали точность расчета емкостного тока также имеет большое значение, особенно при высокоомном заземлении. Последнее, как известно, основной целью имеет ограничение дуговых перенапряжений. Резистор, подключенный к нейтрали, должен обеспечивать апериодический разряд нейтрали за время, равное полупериоду промышленной частоты. Величина защитного резистора выбирается из условия равенства емкостного тока и активного, создаваемого резистором $I_R = I_C = U_{\phi}/R_N$ [4]. Если расчет емкостного тока выполнен без учета емкостного тока двигателей, то возможно завышение величины сопротивления, что приведет к неполному разряду нейтрали и повышению кратности дуговых перенапряжений.

Таким образом, при определении тока однофазного замыкания на землю в сетях среднего напряжения не всегда можно пренебрегать емкостными токами электродвигателей, так как их игнорирование может привести к ошибочному выбору режима заземления нейтрали. В любом случае, при том, что вариант заземления нейтрали будет зависеть от конкретной ситуации, требований к электробезопасности, бесперебойному питанию и других факторов, которые должны быть учтены при более тщательном анализе, точность расчетов играет значительную роль.

Литература

1. Шалин А.И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Расчет уставок ненаправленных токовых защит // Новости ЭлектроТехники: отраслевое информационно-справочное издание, 2005. № 5 (35).
2. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00: утвержден Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 7 декабря 2000 г.
3. Рябинин В.В. Собственные нужды: учебно-методический комплекс. Благовещенск: АМГУ, 2012. 139 с.
4. Евдокунин Г.А., Титенков С.С. Резистивное заземление нейтрали сетей 6–10 кВ. СПб: Издательство Терция, 2009. 264 с.
5. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики / № 11–12/, 2018. С. 99–106.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАНГОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНОВ

Челтыбашев Иван Александрович, Матюнина Юлия Валерьевна
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
xu23mail.ru@yandex.ru, MatiuninaYV@mpei.ru

Представлена возможность использования ранговых распределений для анализа электропотребления регионов за 2008–2019 гг. Рассчитаны децильные коэффициенты распределения. Проанализирована динамика электропотребления Мурманской области.

Ключевые слова: ранговое распределение, электропотребление региона, рейтинг, децильный коэффициент.

THE USE OF RANK DISTRIBUTION FOR THE ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF REGIONS

Cheltybashev Ivan Alexandrovich, Matyunina Yulia Valeryevna

The possibility of using rank distributions for the analysis of regional electric energy consumption for 2008–2019 is presented. Decile distribution coefficients are calculated. The dynamics of electric energy consumption in the Murmansk region is analyzed.

Keywords: rank distribution, electric energy consumption of region, rating, decile coefficients.

Анализ электропотребления регионов позволяет оценить развитие региона и выявить динамику изменений. Сравнение электропотребления различных регионов представляет научный и практический интерес для широкого круга специалистов. Удобными инструментами для сравнения являются рейтинги и ранговые распределения по параметру [1–5].

Рассмотрим ранжирование регионов по электропотреблению за 2008–2019 гг. Первый этап анализа – сбор статистических данных по электропотреблению за рассматриваемый временной промежуток. Второй этап – составление рейтингов регионов за 2008–2019 гг. на основе статистических данных. Третий этап анализа – графическое представление ранговых распределений, анализ децильных коэффициентов.

Для получения статистических данных по электропотреблению в период с 2008 по 2019 гг. воспользовались открытыми источниками [6] и составили рейтинги регионов. Для анализа рейтингов используем понятие дециля. Дециль – это метод разбиения набора ранжированных данных на 10 одинаково больших подразделов. Согласно открытой информации, к регионам с наиболее высоким электропотреблением

(первый дециль, d_1) отнесем 9 областей: Ханты-Мансийский автономный округ, Москва, Иркутская область, Красноярский край, Свердловская область, Московская область, Челябинская область, Кемеровская область, Татарстан.

К регионам с наиболее низким электропотреблением (последний дециль, d_{10}) относятся: Северная Осетия, Адыгея, Карачаево-Черкесия, Еврейская автономная область, Республика Тыва, Ингушетия, Чукотский автономный округ, Республика Алтай, Калмыкия. Как показало ранжирование, регионы-лидеры и регионы нижнего дециля фактически не меняются на протяжении последних 12 лет.

Рассчитаем децильный коэффициент (расхождение по Парето, $d_{0.e}$) по регионам за последние 12 лет. В таблице 1 представлена доля электропотребления первого и последнего децилей от общего электропотребления России, а также соотношение этих величин по годам (децильный коэффициент).

Таблица 1

Доли электропотребления регионов первого и последнего децилей,
децильные коэффициенты

| Параметр | Год | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| $d_1, \%$ | 37,3 | 37,5 | 38,1 | 38,4 | 37,5 | 37,3 | 37,5 | 37,5 | 37,3 | 37,4 | 37,2 | 37,5 |
| $d_{10}, \%$ | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| $d_{0.e}$ | 62,1 | 62,5 | 54,4 | 64 | 70,2 | 62,5 | 53,6 | 53,6 | 53,3 | 53,4 | 53,1 | 53,6 |

Как видно из таблицы, разрыв в электропотреблении между 10 % регионов, входящих в первый дециль, и 10 % регионов последнего дециля последние 6 лет остается на одном и том же уровне – это позволяет говорить о стабильности структуры электропотребления России в региональном разрезе. В то же время децильный коэффициент значительно превышает оптимальный по Парето, следовательно, сохраняется большой разрыв между регионами.

Ранговое распределение по параметру представлено на рисунке 1, где также заметна значительная разница по электропотреблению между регионами.

Как показал анализ, в верхней и нижней части графика находятся одни и те же регионы, однако внутри каждого дециля происходят периодические изменения. Регионы, занимающие верхнюю часть рейтинга, представляют собой хорошо развитые промышленные кластеры.

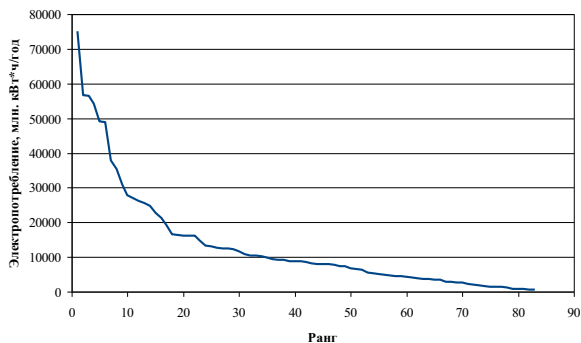


Рис. 1. Ранжирование регионов по электропотреблению за 2019 год

Также интересно проанализировать электропотребление отдельных регионов и их место в общей структуре. Сделаем анализ на примере региона из третьего дециля – Мурманской области, которая занимала места в рейтинге с 24 по 27. Данные по электропотреблению выбранного региона приведены в таблице 2 и графически представлены на рисунке 2.

Таблица 2

Годовое электропотребление Мурманской области, млн кВт·ч

| | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Год | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| W, млн кВт·ч | 12956 | 12375 | 12570 | 12429 | 12552 | 12324 |
| Год | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| W, млн кВт·ч | 12252 | 12268 | 12352 | 12797 | 12552 | 12728 |

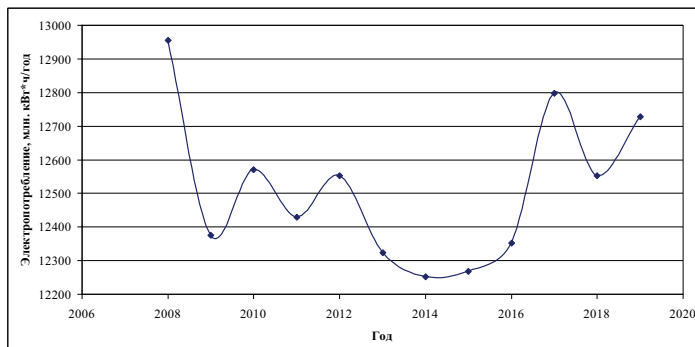


Рис.2. Динамика электропотребления Мурманской области

Как следует из приведённых данных, за последние 6 лет электропотребление Мурманской области не менялось более, чем на 4,3 %. На рисунке 3 представлен график, показывающий, какие ранги в распределении занимала Мурманская область на протяжении последних 12 лет.

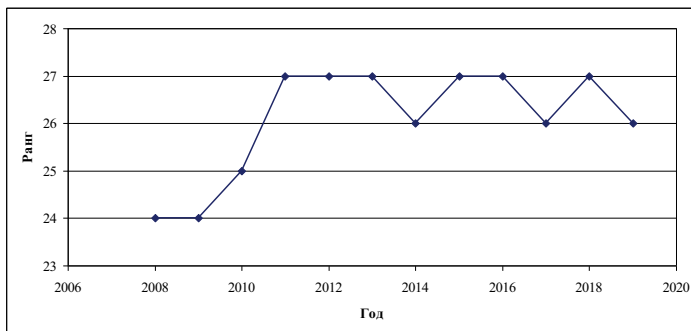


Рис. 3. Место Мурманской области в рейтинге на протяжении 12 лет

Как можно увидеть из графиков, электропотребление региона за рассматриваемый период менялось незначительно. Основу электропотребления региона составляют предприятия, задействованные в добыче полезных ископаемых и переработке полезных ископаемых (71,5 %). При этом ранг региона также меняется незначительно (не более, чем на 1 ранг), что свидетельствует о совпадении тенденций его развития с ближайшими «соседями по рейтингу». Таким образом, экономическое положение региона достаточно стабильно.

Исследования будут продолжены после получения данных по 2020 году, который может внести значительные изменения в структуру электропотребления регионов.

Литература

1. Кудрин Б.И. Электроэффективность: ежегодный рейтинг российских регионов по электропотреблению за 1990–1999 гг // Электрика, 2001. № 6. С. 3–12.
2. Кудрин Б.И., Фуфаев В.В. Электроэффективность: рейтинг российских регионов по электропотреблению за 1990–1999 г. и прогнозный до 2020 г. // Электрика, 2007. № 10. С. 3–17.

3. Кудрин Б.И., Фуфаев В.В. Энергоэффективность: рейтинг российских регионов по электропотреблению за 1990–2010 годы // Электрика, 2010. С. 3–15.
4. Кучин П.Г. Рейтинг российских регионов по электропотреблению // Промышленная энергетика, 2015. № 12. С. 34–45.
5. Гнатюк В.И. Технология рангового анализа техноценозов Доступно по: URL : https://elib.spbstu.ru/dl/func/lex_5.htm
6. Доступно по: URL: <https://russia.duck.consulting/maps/357/2018>.
7. Федотов А.И, Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения. Промышленная энергетика, № 12, 2016. С. 28–33.

Секция 2. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 629.03

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Абдуллина Аида Радиковна, Закирова Наргиза Жахонгировна,
Павлов Павел Павлович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
77aida77@gmail.com, zakirova_nargiza29.01.96@mail.ru, pavlov2510@mail.ru

В данной статье рассмотрены такие методы повышения надежности электроподвижного состава как резервирование, а так же схемные методы и методы повышения надежности систем, применяемые в эксплуатации

Ключевые слова: надежность, метод, электроподвижной состав, элемент, отказ, эксплуатация.

RESEARCH OF METHODS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF ELECTRIC ROLLING STOCK

Abdullina Aida Radikovna, Zakirova Nargiza Jahongirovna, Pavlov Pavel Pavlovich

This article discusses such methods for improving the reliability of electric rolling stock as redundancy, as well as circuit methods and methods for improving the reliability of systems used in operation

Keywords: reliability, method, electric rolling stock, element, failure, operation

Одним из основных элементов электроподвижного состава (ЭПС) являются тяговые двигатели (электрические машины) различных типов. Качество электрических машин представляет совокупность свойств, определяющих их пригодность для эксплуатации. Надёжность является важнейшим технико-экономическим показателем качества любого технического устройства [1], в частности электрической машины, определяющим ее способность безотказно работать с неизменными техническими характеристиками в течение заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации. При широком использовании электрических машин в различных системах электроприводов и автоматического управления производством во многом определяется надёжность этих машин. Отказы электрических машин наносят значительный материальный ущерб. Повышение надежности электрических машин, является актуальной научно - технической проблемой [2].

Наличие этой проблемы обусловлено следующими объективными причинами:

- рост сложности технических систем, которые включают в себя сотни и тысячи отдельных узлов и элементов;
- экстремальные условия эксплуатации электрических машин (высокая скорость, температура, давление и вибрация, резкий перепад температур и др.);
- изменение интенсивности режимов работы систем или отдельных элементов и узлов (при различных режимах работы);
- увеличение требований к качеству изготовления электрических машин (повышение точности, эффективности и др.);
- увеличение экономическая и техническая стоимости обнаружения и устранения отказов;
- увеличение уровня автоматизации, т.е. уменьшение роли персонала в непосредственном управлении работой системы и ее элементов [3].

Все методы повышения надежности оборудования принципиально могут быть сведены к следующим основным: резервированию; уменьшению интенсивности отказов элементов системы; сокращению времени непрерывной работы; уменьшению времени восстановления; выбору рациональной периодичности и объема контроля систем.

Применение этих методов осуществляется на всех этапах эксплуатации оборудования.

Очевидно, что надежность систем заложена в основном при проектировании, строительстве и изготовлении. Работа проектировщика и проектировщика, прежде всего, зависит от того, как будет работать оборудование в определенных условиях эксплуатации. Это не означает, что организация процесса эксплуатации не влияет на надежность объекта. Роль обслуживающего персонала, в процессе эксплуатации электрических машин, оказывает влияние на показатели надежности системы [4] и может изменить их, как в сторону понижения, так и в сторону повышения.

В процессе проектирования и строительства используются схемные и конструктивные методы повышения надежности систем [6].

Схематические методы включают в себя:

- создание диаграмм с минимально необходимым количеством элементов;
- применение оговорок;
- разработка схем, предотвращающих опасные последствия выхода из строя их компонентов;
- оптимизация последовательности работы элементов схемы;

– предварительный расчет надежности проектируемой схемы.

Уменьшение количества элементов при прочих равных приводит к увеличению вероятности безотказной работы, а также положительному влиянию на её вес, размер и стоимость. Однако помните, что уменьшение количества элементов не должно увеличивать коэффициент нагрузки остальных элементов, иначе эффект может быть прямо противоположным.

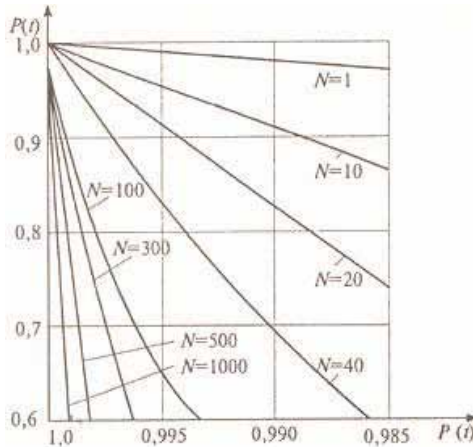


Рис.1. Зависимость вероятности безотказной работы системы от надежности и числа элементов

Избыточность является одним из наиболее эффективных методов повышения надежности объектов. В случае избыточности в конструкции заранее предусмотрена замена неисправного элемента на исправный.

При проектировании, для повышения надежности применяют методы, которые включают в себя:

- применение элементов у которых низкий шум, при требуемых условиях эксплуатации;
- обеспечение необходимых режимов работы элементов;
- оптимальный состав управляющих параметров;
- оптимальный состав допусков при изменении управляющих параметров элементов и систем;
- защита элементов и систем от воздействия вибрации и ударов;
- комплексирование используемых элементов и систем;
- разработка нормативно-технической документации с учетом данных полученных при эксплуатации аналогичных системы;

– обеспечение эксплуатационной и ремонтной приспособляемости элементов и систем объектов (применение встроенных средств контроля и управления, автоматизация контроля и идентификация отказов, ремонтпригодность) [3, 7].

При производстве элементов и систем объектов сложных технических систем основными направлениями повышения надежности являются:

– усовершенствование технологического процесса и организации производства, применение средств и методов автоматизации;

– применение различных способов и методов, для контроля качества выпускаемой продукции ;

– применение самообучаемых элементов и систем.

Применение таких методов, для повышения надежности сложных технических систем, необходимо использовать с учетом оценки степени влияния каждого из них, на эффективность функционирования системы в целом. Там, где меры были спорными, требуется принятие компромиссного решения.

Способы повышения надежности используемых в процессе эксплуатации систем можно разделить на две группы.

Первая группа включает все описанные способы. На основе изучения опыта эксплуатации сервисного инженера способен разработать комплекс рекомендаций для проектировщиков и конструкторов по совершенствованию систем качества (изменение схемы, замена изделий, изменение конструкций, материалов и т.д.). Эти рекомендации согласовываются с проектировщиками и являются специальными инструкциями (модификациями) [7].

Однако нельзя считать, что в процессе эксплуатации устраняются только конструкторские и производственные ошибки, хотя доля таких ошибок все еще велика.

Вторая группа мер, которая влияет на надежность и качество систем в процессе эксплуатации, включает в себя вопросы относящиеся к воздействию обслуживающего персонала и др. К ним относятся:

– повышение квалификации обслуживающего персонала;

– применение инструментальных методов контроля технического состояния систем;

– обоснование объема и сроков проведения профилактически мероприятий, основанных на применении методов теории надежности;

– обоснование сроков службы элементов и состава ЗИПа;

– разработка и внедрение способов прогнозирования неисправностей.

Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин (РЕПРИНТ): учебник. Москва : Транспортная компания, 2016. 639 с.
2. Сидорова А.А., Мукимов А.Х., Павлов П.П. Надежность электроподвижного состава В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития // Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников, 2018. С. 107–108.
3. Павлов П.П., Гараева А.Р., Истоппенников М.А. Определение технического состояния электротехнического оборудования электроподвижного состава // Международная НИК «Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития». СамГУПС, Самара – Оренбург, 5 апреля 2017 г. С. 37–38.
4. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Павлов П.П. Оценка влияния надежности элементов наземного городского электрического транспорта на его пропускную способность. // Надежность и качество сложных систем. Организация и безопасность движения. Москва, 2017. № 8. С. 95–103.
5. Мукимов А.Х., Сидорова А.А., Павлов П.П. Диагностика тяговых электрических двигателей В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития // Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников, 2018. С. 87–88.
6. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин : учеб. пособие для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2017.
7. Auhadeev A.E., Idiyatullin R.G., Kiseeva L.N. Identification of electric traction in the urban electric transport system. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 643 (1), 012028.

УДК 621.311.1

МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ МАГНИТОГОРСКА

Бакайкин Егор Анатольевич, Михайличенко Вячеслав Анатольевич,
Шеметов Андрей Николаевич,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
a.shemetov@magtu.ru

Рассмотрены основные аспекты модернизации систем электроснабжения крупных городов. Приведен анализ динамики изменения электрических нагрузок

на примере г. Магнитогорска. Предложены варианты повышения надежности и устойчивости электроснабжения.

Ключевые слова: схема электроснабжения, городские питающие сети, электрические нагрузки, надежность, режимная управляемость, качество электроэнергии

MODERNIZATION OF THE POWER SUPPLY SCHEME OF A MODERN CITY ON THE EXAMPLE OF MAGNITOGORSK

Bakajkin Egor Anatol'evich, Mihajlichenko Vyacheslav Anatol'evich,
Shemetov Andrej Nikolaevich

The main aspects of modernization of power supply systems of large cities are considered. The analysis of dynamics of change of electric loadings on the example of Magnitogorsk is given. Options for improving the reliability and stability of power supply are proposed.

Keywords: electric power supply scheme, urban power supply networks, electric loads, reliability, modal controllability, power quality

Современное городское хозяйство отличаются большим энергопотреблением и высокой плотностью электрических нагрузок, что обусловлено повышенной этажностью жилой застройки, концентрацией коммунально-бытовых, производственных и торговых предприятий, развитием электрифицированного общественного транспорта [1]. При этом зачастую возникают дополнительные ограничения в области проектирования и эксплуатации систем электроснабжения:

– ужесточение требований к бесперебойности электропитания и качеству электрической энергии в связи с широким использованием электротехники и электроники в системах жизнеобеспечения жилых и общественных зданий, в т. ч. с массовым скоплением людей;

– физически и морально устаревшее электросетевое хозяйство, требующее резервирования и повышения их пропускной способности линий и подстанций;

– высокая стоимость землеотвода в условиях недостатка свободных площадей на городской территории или особых архитектурно-эстетических условий существующей застройки [2–3].

Решение указанных проблем требует комплексного подхода и отдельного технико-экономического обоснования в каждом конкретном случае. Однако можно выделить и типовые общемировые тенденции в их решении.

Начиная с 1965 г. энергетиками накоплен богатый опыт ликвидации последствий крупных системных аварий на объектах энергоснабжения

крупных мегаполисов. Стоит вспомнить только энергетические коллапсы в Нью-Йорке (1965 г.), Лондоне (2004 г.) и Москве (2005 г.), которые принесли не только экономический ущерб, но и создали реальную опасность для жизни большого числа городских жителей [2-6].

В России проблема качества электроснабжения населенных пунктов имеет особую значимость, поскольку большая часть ее территории находится в суровых климатических зонах, где в системах отопления и водоснабжения используются электронагревательные установки, мощные циркуляционные электронасосы и компрессоры, не говоря уже о всевозможных средствах автоматизации и диспетчерского управления.

Министерство энергетики РФ устанавливает соответствующие стандарты надежности, качества и энергетической эффективности сетевых организаций, регламентирующие количество и продолжительность перерывов питания потребителей, а также оперативность устранения сложившихся аварий [7]. При этом производится постоянный мониторинг исполнения данных предписаний.

Для обеспечения бесперебойности и устойчивости электроснабжения городов используются схемы многоконтурного перекрестного резервирования питающих и распределительных сетей и линии «глубокого ввода» 110–220 кВ. При стесненных условиях застройки широко применяются кабельные линии и закрытые понизительные подстанции высокого напряжения, а также локальные генерирующие мощности – мини-ТЭЦ [2–3]. Такие схемотехнические решения отличаются высоким уровнем надежности, режимной гибкости и ремонтпригодности.

Рассмотрим схему электроснабжения крупной агломерации с компактным жилым и развитым промышленным сектором на примере г. Магнитогорска (рис. 1).

Основные источники электроснабжения – две подстанции связи с внешней энергосистемой (500/220/110 кВ) и три собственных электростанции: ТЭЦ (330МВт), ЦЭС (190 МВт) и ПВЭС (102 МВт). Кроме того, имеется несколько мини-ТЭЦ мощностью по 18 МВт, расположенных в локальных узлах нагрузки.

Все узловые подстанции связаны между собой сложноразветвленными сетями 110 и 35 кВ, разделенными на независимые контуры, которые дополнительно резервируются на сборных шинах 220 кВ системных подстанций. Понизительные подстанции 110/10 кВ расположены в локальных центрах электрических нагрузок – в промышленной и жилой зоне. Распределительные сети 10 кВ соединяют их с остальными городскими микрорайонами через систему распределительных пунктов

Таблица 1

Динамика энергопотребления Магнитогорского энергоузла

| Год | отчет | | | прогноз | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Потребление электроэнергии, млн кВт·ч | 9142,9 | 8603,0 | 9103,7 | 9172,1 | 9268,0 | 9307,3 | 9346,1 |
| Максимальная мощность, МВт | 1281,9 | 1199,2 | 1269,0 | 1286,0 | 1319,0 | 1323,0 | 1334,0 |

Приведенные данные показывают, что назрел вопрос планомерного увеличения пропускной способности существующих и строительства новых линий электропередач, а также наращивания установленной мощности электрических станций и подстанций.

Учитывая вышеизложенное, предлагаются к реализации следующие технические мероприятия:

1. Перевод наиболее загруженных фрагментов распределительных сетей и подстанций (например, подстанции № 58, расположенной в динамично развивающемся районе) с напряжения 35 кВ на уровень 110 кВ.

2. «Упреждающее» строительство новых центров питания в южной части города (в зоне перспективной многоэтажной застройки) с подключением к существующему кольцу 110 кВ.

3. Развитие распределенной генерации с размещением мини-ТЭЦ в новых районах малоэтажной и индивидуальной застройки для обеспечения потребителей не только электрической, но и тепловой энергией.

Это позволит обеспечить устойчивость электроснабжения города в нормальных и аварийных режимах, сократить потери электроэнергии в сетях и создать необходимый задел на перспективу дальнейшего роста электрических (и тепловых) нагрузок. Очередность и масштаб предлагаемых мероприятий может корректироваться в ходе уточняющих технико-экономических расчетов.

Литература

1. Атабеков В.Б., Крюков В.И. Городские электрические сети: справочник. М.: Стройиздат, 1987. 384 с.

2. Ковалев Г.Ф., Принципы и рекомендации по обеспечению надежности электроснабжения крупных городов, промышленных центров

и регионов России // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2009. № 1. С. 113–119.

3. Яценко С.О., Никитин С.Г., Колубков А.Н., Шилкин Н.В. Особенности организации электроснабжения многофункциональных высотных комплексов // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК), 2008. № 4. С. 68–90.

4. Farouk N., Proposal for Improve the Electrical Power Supply in Port Sudan Town // International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 42, May, 2012. P. 91–100.

5. Johnson D.O., Assessment of Electric Power Distribution Feeders Reliability: A Case Study of Feeders that Supply Ede Town // International Conference on Electric Power Engineering (ICEPENG 2015). – October 14–16, 2015. – Pp. 167–176.

6. Haiwang Li, Hongsheng Zhao; Yuanjing Zhao, Xuefeng Shu, Study on Planning for the Indoor-Earthquake-Shelter in City and Town // Advanced Science Letters, Vol. 4, № 8–10, August 2011, pp. 2654–2665 (12).

7. Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики: утверждены приказом Министерства энергетики РФ от 12 июля 2018 г. № 548.

8. Газизова О.В., Кондрашова Ю.Н., Шеметов А.Н. Специальные вопросы электроснабжения. Часть 1: электронный ресурс. Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2020. 286 с.

9. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Челябинской области на 2019–2023 годы. // Утв. распоряжением Губернатора Челябинской области от 28.04.2018. № 503-р.

УДК 62-83

РАЗРАБОТКА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ СОГЛАСОВАНИЯ ДИАПАЗОНОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЯХ ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Баширов Мусса Гумерович, Прахов Иван Викторович,
Бирюков Евгений Юрьевич
ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет,
филиал в г. Салавате, Салават, Россия
eapp@yandex.ru, priwan@yandex.ru, crypto@list.ru

Разработана схема согласования диапазонов в измерительных цепях датчиков тока и напряжения, для использования в обратной связи интеллектуальных систем управления электроприводом.

Ключевые слова: автоматизация электропривода, прототип, схемотехника, принципиальные схемы, фильтрация, согласование, микропроцессорный контроллер.

DEVELOPMENT OF SCHEMICAL SOLUTION FOR MATCHING THE RANGE IN THE MEASURING CIRCUITS OF CURRENT AND VOLTAGE SENSORS

Bashirov Mussa Gumerovich, Prakhov Ivan Viktorovich,
Biryukov Evgeny Yurievich

A scheme for matching the ranges in the measuring circuits of current and voltage sensors has been developed for use in the feedback of intelligent control systems for an electric drive.

Keywords: automation of an electric drive, prototype, circuitry, schematic diagrams, filtration, coordination, microprocessor controller.

Современные решения в области автоматизации электропривода представляют собой интеллектуальные микроконтроллерные системы с обратной связью по оборотам электродвигателя или его электрическим характеристикам. В решениях с измерением электрических характеристик, требуется наличие датчиков тока и напряжения, прямо или косвенно связанными с силовыми цепями, являющимися источником мощных электрических помех. Борьба с этими помехами является одной из важных задач разрабатываемого решения [5].

Другой важной составляющей схемотехнических решений в цепи обратной связи является согласование диапазонов сигналов, выдаваемых с датчиков, с диапазоном измерения аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Существует множество возможных схемотехнических решений, для приведения сигналов и фильтрации их от высокочастотных помех, вызванных переходными процессами в силовой электрической цепи [1, 2].

В ходе проекта было разработано схемотехническое решение согласования диапазонов в измерительных цепях датчиков тока и напряжения.

Общий вид интеллектуальной системы управления электроприводом приведен на рисунке 1.

Блок фильтрации и нормализации напряжения содержит в себе механизмы защиты от бросков тока и напряжения в силовой цепи, для этих целей используются встречно параллельно включенные диоды, при ограниченном токе, максимальная амплитуда на них не превышает напряжения прямого пробоя диодов [7].

Повторитель напряжения на операционном усилителе (ОУ) в дифференциальном включении используется для развязки и согласования схемы, обеспечивая корректную работу узла смещения сигнала. Эта схема

сдвигает график сигнала, целиком выше ноля, благодаря чему достигается удешевление стоимости решения. Добавленное к повторителю интегрирующее звено выполняет первую ступень фильтрации [4].

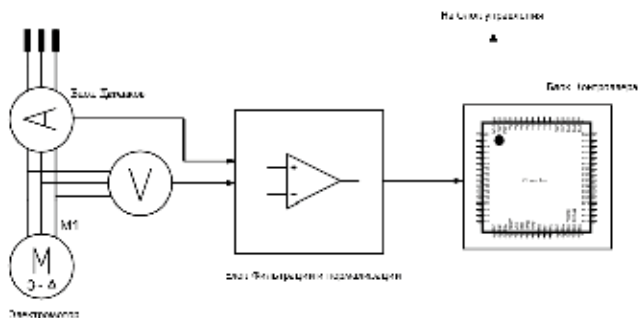


Рис. 1. Общий вид интеллектуальной системы управления электроприводом

Следующее звено цепи, активный фильтр нижних частот Баттерворда на ОУ выполняет функцию усиления и второй ступени фильтрации. Коэффициент усиления настроен таким образом, чтобы привести результирующий сигнал к диапазону измерения АЦП. На этом этапе данные полностью подготовлены для передачи их на аналого-цифровой преобразователь. Принципиальная схема блока фильтрации и нормализации напряжения приведена на рисунке 2.

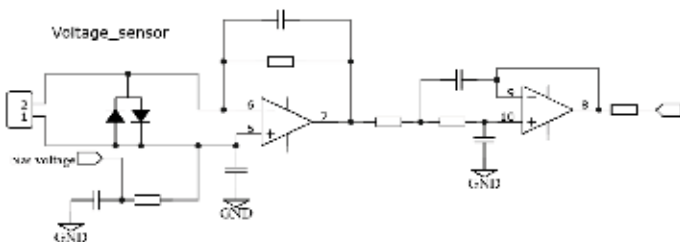


Рис. 2. Принципиальная схема блока фильтрации и нормализации напряжения

В блоке фильтрации и нормализации тока, для ограничения всплесков, вызванных переходными процессами, использовано звено пассивных LC-фильтров с выровненной по электрическому потенциалу средней точкой относительно земли [6].

В связи с физическими особенностями трансформатора тока, амплитуда напряжения на его вторичной обмотке может достигать очень больших величин. Для ограничения этой амплитуды и подавления высокочастотных помех, проникших из силовой сети через реактивные связи, используется каскадное звено из симметричного супрессора и встречно параллельно включенных диодов.

Повторитель напряжения на ОУ в дифференциальном включении используется для развязки и согласования схемы, обеспечивая корректную работу узла смещения сигнала. Эта схема сдвигает график сигнала, целиком выше ноля, благодаря чему достигается удешевление стоимости решения. Добавленное к повторителю интегрирующее звено выполняет функцию фильтрации.

На этом этапе данные полностью подготовлены для передачи их на аналого-цифровой преобразователь. Принципиальная схема блока фильтрации и нормализации тока приведена на рисунке 3 [8].

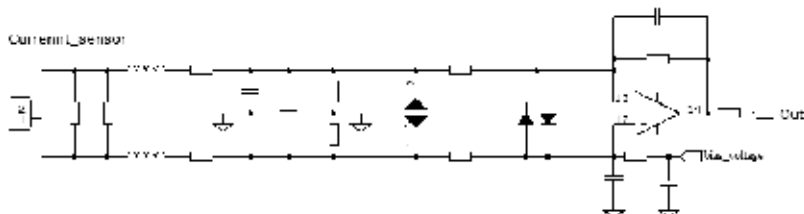


Рис. 3. Принципиальная схема блока фильтрации и нормализации тока

На рисунке 4 представлен внешний вид готовых модулей блока фильтрации и нормализации для двух фаз.

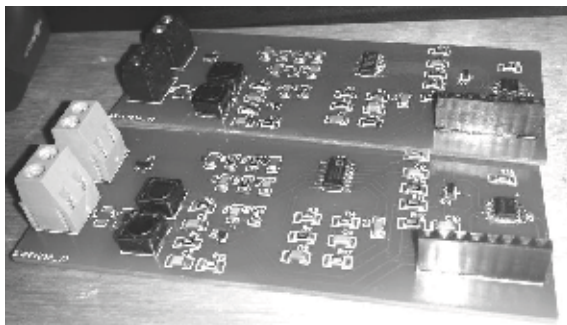


Рис. 4. Печатная плата блока фильтрации и нормализации, готовые прототипы для 2х фаз

Литература

1. Прахов И.В., Баширов М.Г., Самородов А.В. Анализ взаимосвязи параметров высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода, с режимами работы и характерными повреждениями машинных агрегатов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2011. № 1. С. 62–69.
2. Прахов И.В. Оценка поврежденности насосных агрегатов по значениям параметров гармоник токов и напряжений электропривода: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, 2011. С. 165.
3. Операционные усилители и компараторы. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. 560 с.
4. Операционные усилители. Майкоп: АГУ, 2005. 192 с.
5. Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В. (Россия). Патент на изобретение № 2431152. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом. № 2431152; Заявлено 23.11.2009, № 2009143292/28; Опубл. 10.10.2011. Бюл. № 28.
6. Прахов И.В., Юмагузин У.Ф., Фарваев И.Р. Электромагнитный спектральный метод оценки технического состояния и ресурса машинных агрегатов с электрическим приводом // Федоровские чтения: материалы XLV международной научно-практической конференции. М.: Из-во «Издательский дом МЭИ», 2015. С. 72–81.
7. Прахов И.В., Баширов М.Г., Самородов А.В. Разработка программного-аппаратного комплекса для определения технического состояния и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 2011. № 3. С. 12–16.
8. Прахов И.В., Бикметов А.Г. Применение искусственных нейронных сетей в спектральном методе диагностики машинных агрегатов // Фундаментальные исследования, 2015. № 9–3. С. 502–506.

УДК. 621.314.211

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Белей Валерий Феодосиевич
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
г. Калининград, Россия
vbeley@kltgu.ru,

Дана оценка потерь электроэнергии в электроэнергетической системе России. Приведены материалы из нормативных документов, регламентирующих энергети-

ческую эффективность распределительных трансформаторов. Показано, что использование в трансформаторах аморфных сплавов, решений по снижению плотности тока в обмотках трансформатора приводит к значительному снижению потерь энергии и его нагрева. Практически исключается эмиссия высших гармоник тока в питающую сеть, снижается потребление реактивной мощности.

Ключевые слова: эффективность, трансформатор, электроэнергия, напряжение, потери, мощность, аморфная сталь, гармоника.

EFFICIENCY MARK DISTRIBUTION TRANSFORMERS

Beley Valeriy Veodosievich

The estimation of electricity losses in the electric power system of Russia is given. Materials from the normative documents regulating the energy efficiency of distribution transformers are presented. It is shown that the use of amorphous alloys in transformers, solutions to reduce the current density in the transformer windings leads to a significant reduction in energy losses and its heating. The emission of higher harmonics of the current into the supply network is practically excluded, the consumption of reactive power is reduced.

Keywords: efficiency, transformer, electricity, voltage, losses, power, amorphous steel, harmonic.

Потребление электроэнергии в 2019 году в России достигло 1 059,4 млрд кВт·ч [1]. По данным, приведенным в [2], относительные потери электроэнергии в электроэнергетической системе России, включая электрические сети потребителей различного назначения и форм собственности, составили около 14 % от отпущенной электроэнергии. Для сравнения, относительные потери в электроэнергетических системах стран мира с эффективной экономикой находятся в пределах от 4 % до 7 % [2].

Высокий уровень потерь электроэнергии в электрических сетях России обусловлен моральным и физическим износом электрооборудования электрических сетей, высоким уровнем некомпенсированной реактивной мощностью, низким качеством электроэнергии и другое.

С позиций направленности данной работы, рассмотрим долю потерь электроэнергии в силовых трансформаторах, эксплуатирующихся в электроэнергетической системе РФ (таблица 1).

Таблица 1

Структура потерь электроэнергии по элементам электроэнергетической системы РФ

| Всего | В том числе | | | |
|-------|-------------------------------|---|---|---------------|
| | Линии электропередачи | Трансформаторы и автотрансформаторы | Реакторы, силовые конденсаторы, счетчики, измерительные ТТ и ТН | СН подстанций |
| 100 % | ≈65 % из них 5 % на корону | ~30 % из них половина – потери в стали | 3 % | 2 % |

На долю трансформаторов 1–3 габаритов (номинальная мощность до 6300 кВА), приходится 98,6 % от общего числа, производимых для России силовых трансформаторов. Однако, по установленной мощности доля трансформаторов 1–3 габаритов составляет 31,1 % [3]. В настоящее время, в России к распределительным относят трансформаторы номинальной мощностью от 63 до 2500 кВА, классов напряжения 6–10 кВ [4], что в основном соответствует европейской классификации [5].

В России, организацией ПАО «РОССЕТИ» разработан стандарт СТО 34.01-3.2-011-2017 [4], регламентирующий класс энергетической эффективности трансформаторов, приобретаемых для использования в электрических сетях организации. Стандарт определяет максимальные значения потерь холостого хода и короткого замыкания в трансформаторах по четырем категориям (таблицы 2 и 3).

Таблица 2

Максимальная величина потерь холостого хода распределительных трансформаторов общего назначения

| Мощность, кВА | Потери холостого хода (X), Вт | | | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|--------------------------------------|------|------|
| | Класс энергоэффективности | | | | | |
| | X1 | X1 (допускается до 01.01.2019) | X2 | X2 (допускается до 01.01.2019) | X3 | X4 |
| 63 | 175 | 210 | 160 | | 128 | 104 |
| 100 | 260 | 270 | 217 | | 180 | 145 |
| 160 | 375 | 400 | 300 | | 260 | 210 |
| 250 | 520 | – | 425 | | 360 | 300 |
| 400 | 750 | – | 565 | 610 | 520 | 430 |
| 630 | 1000 | – | 696 | 800 | 730 | 560 |
| 1000 | 1400 | – | 957 | 110 | 940 | 770 |
| 1250 | 1500 | – | 1350 | | 1150 | 950 |
| 1600 | 1950 | – | 1478 | | 1450 | 1200 |
| 2500 | 2600 | – | 2130 | | 2100 | 1750 |

В Европе к распределительным трансформаторам применяются следующие стандарты: международные (*ISO, IEC*); европейские стандарты и нормы (*EN, HD*); национальные стандарты (*BSI, NF, DIN, NEN, UNE OTEL*) [5], незначительно отличающихся от принятых в России [4].

Следует отметить, что в показатели энергетической эффективности трансформатора не входит ток холостого хода (I_0) [6]. Для оценки эффективности трансформатора такой имеет важное значение. Как

известно, в следствии нелинейности кривой намагничивания магнитопровода, ток холостого хода имеет несинусоидальную форму, что обуславливает эмиссию в питающую сеть высших гармоник тока (ВГ): 3, 5, 7 и далее. К подстанциям 35–110/10 кВ, как правило, подключается большое количество распределительных трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ, что и определяет в итоге значительную величину ВГ напряжения в сетях напряжением 10 кВ.

Таблица 3

Максимальный уровень потерь короткого замыкания распределительных трансформаторов общего назначения

| Мощность, кВА | Потери короткого замыкания (К) , Вт | | | |
|------------------|-------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
| | Класс энергоэффективности | | | |
| | K1 | K2 | K2 (допускается до 01.01.2019) | K3 |
| 63 | 1280 | 1270 | | 1031 |
| 100 | 1970 | 1591 | | 1475 |
| 160 | 2900 | 2136 | 2350 | 2000 |
| 250 | 3700 | 2955 | 3250 | 2750 |
| 400 | 5400 | 4182 | 4600 | 3850 |
| 630 | 7600 | 6136 | 6750 | 5600 |
| 1000 | 10600 | 9545 | 10500 | 9000 |
| 1250 | 13500 | 13250 | | 11000 |
| 1600 | 16500 | 15455 | | 14000 |
| 2500 | 26500 | 23182 | | 22000 |

Очевидно, что используемая в трансформаторах электротехническая сталь по своим энергетическим характеристикам близка к теоретическому пределу. Для координального снижения потерь холостого хода требуются новые магнитные материалы. На данном этапе развития трансформаторостроения – это аморфные сплавы [5, 6]. Для снижения нагрузочных потерь – снижение плотности тока в обмотках трансформатора.

Значительного прогресса в области производства распределительных трансформаторов добилась фирма General Electric, выпускающая трансформаторы мощностью от 10 до 2500 кВА с сердечником из аморфных сплавов с прошлого века (таблица 4) [6, 7]. Трансформатор из аморфных сплавов (*General Electric*) по сравнению с традиционным с магнитопроводом из электротехнической стали имеет значительно меньшие потери мощности. Ток холостого хода в 20 раз меньше, что практически исключает эмиссию ВГ тока в питающую сеть.

Таблица 4

Технические данные распределительных трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ и мощностью 25 кВА

| Тип | | ТМ-25/10 | General Electric | Максимальный уровень потерь (постановление совета Европы от 21.05.2014) [6] |
|------------------|----------|----------|------------------|---|
| Потери, Вт | P_0 | 130 | 15 | 63 |
| | $P_{кз}$ | 600 | 322 | 600 |
| $I_0, \%$ | | 3,2 | 0,14 | - |
| $U_{кз}, \%$ | | 4,5 | 2,45 | - |
| Масса, кг | | 380 | 441 | - |
| Уровень шума, дБ | | – | ≤33 | - |

Низкие величины напряжения короткого замыкания и тока холостого хода трансформатора из аморфных сплавов (*General Electric*) приводит к значительному снижению потребляемой этим трансформатором РМ.

$$\Sigma Q \approx \frac{I_0(\%)}{100} S_H + \beta^2 \frac{U_{кз}(\%)}{100} S_H, \quad (1)$$

где $U_{кз}(\%)$ – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора; S_H – номинальная мощность трансформатора; β – коэффициент загрузки трансформатора.

Трансформаторы на аморфных сплавах дороже трансформаторов из электротехнической стали, поэтому производители вводят показатель «Минимизированную стоимость», которая складывается из цены на трансформатор и стоимости потерь электроэнергии в трансформаторе за нормативный срок его эксплуатации [6, 7]. Снижение потерь энергии в трансформаторах на аморфных сплавах приводит к снижению его нагрева, что следует из рассмотрения уравнения теплового баланса трансформатора.

$$\Delta P \cdot dt = C \cdot d\theta + A \cdot \theta \cdot dt, \quad (2)$$

где ΔP – сумма потерь электроэнергии в трансформаторе; C – теплоемкость трансформатора; A – теплоотдача трансформатора.

$$\theta_{уст} = \frac{\Delta P}{A}, \quad (3)$$

где $\theta_{уст}$ – установившееся значение превышения температуры трансформатора над окружающей средой.

В России фирма РОСТРЭЙДКОМ производит распределительные трансформаторы на аморфных сплавах (рис. 1) [8], с более меньшими потерями по сравнению с трансформаторами на основе электротехнической стали.

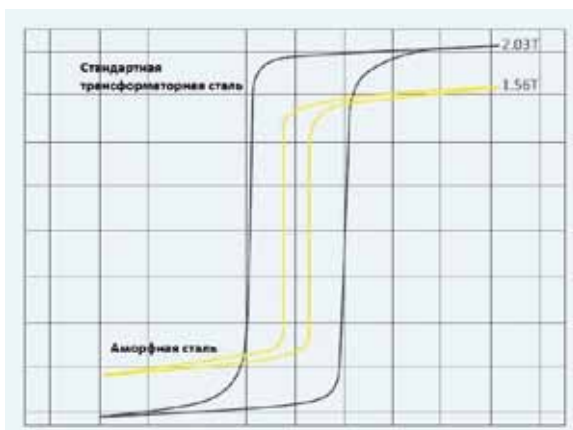


Рис. 1. Кривые намагничивания сердечника из аморфной стали и электротехнической стали

Одним из перспективных областей применения трансформаторов на аморфных сплавах – это ветроэнергетические установки, в которых от генератора через преобразователь и трансформатор, электрическая энергия передается в электроэнергетическую систему [9]. Это обусловлено стремлением производителей ветроустановок минимизировать потери на собственные нужды и обеспечить качество электроэнергии.

Литература

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году. // Системный оператор Единой энергетической системы, 2005. Доступно по: URL: <https://so-ups.ru/functioning/tech-disc/tech-disc2020/tech-disc2020ups/>. Ссылка активна на 07.01.2021.

2. Воротницкий В.Э., Жежеленко И.В., Трофимов Г.Г. Повышение энергетической эффективности электрических сетей // Региональная энергетика и энергосбережение. М.: 2017. № 4. С. 3–8.

3. Савицкий Ю.М. Современные трансформаторы: анализ состояния производства в РФ силовых масляных трансформаторов 1–3 габарита // Электротехнический рынок, 2011. № 4 (40). С. 34–39.

4. СТО 34.01-3.2-011-2017. Трансформаторы силовые распределительные 6–10кВ мощностью 63–2500 кВА. Требования к уровню потерь холостого хода и короткого замыкания = BS EN 5046. Three-phase oil immersed distribution transformers 50 Hz, from 50 kVA to 2500 kVA with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV. Part 1. General requirements : Стандарт организации : официальное издание : установлен Федеральным законом от 27 декабря 2002 № 184-ФЗ : введен впервые : дата введения 2017.04.12 / разработан ООО «ЭНЕРТЭКС», ПАО «МРСК Центра».

5. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д., Магницкий А.А. Нормирование энергоэффективности распределительных трансформаторов // Энергия единой сети. М.: 2017. № 5 (34). С.21–31.

6. Белей В.Ф. Оценка роли трансформаторов в системах энергообеспечения с позиций энергосбережения и повышения качества электроэнергии // Промышленная энергетика, 2002. № 5. С. 36–42.

7. Кустов С.С. Основные направления развития коммуникаций трансформаторов I-II габаритов. Электрические станции, 1995, № 1. С. 62–66.

8. ТСЛА с аморфным сердечником, 2021. Доступно по: URL: <http://rostradecom.ru/equipment/transformers/dry-type-transformers/tsl-amorf/>. Ссылка активна на 05.01.2021.

9. Белей В.Ф., Селин В.В., Задорожный А.О., Никишин А.Ю., Елагин Н.Н., Соловей А.В. Возобновляемые источники энергии: справочник модуля, Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. 257 с.

УДК 629.423.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАМВАЕВ

Венюков Максим Владимирович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
maks_venyukov@mail.ru

Условия вождения электроподвижного состава (ЭПС) городского электрического транспорта (ГЭТ) характеризуются непрерывным изменением силы тяги и скорости движения. Так как мощность тягового электрооборудования (ТЭО) часто

изменяется при разных скоростях, она меняется в зависимости от реализуемой скорости. Такие моменты позволяют реализовать очень важные режимы управления тяговым ЭПС, зачастую отличные от принятых при тяговых расчетах.

Ключевые слова: городской электрический транспорт, тяговое электрооборудование, электроподвижной состав, тяговое электрооборудование, электропривод, тяговая единица.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON THE PARAMETERS OF LOADING MODES OF ELECTRIC POWER EQUIPMENT OF TRAMS

Venyukov Maxim Vladimirovich

Driving conditions of electric rolling stock (EPS) of urban electric transport (GET) are characterized by a continuous change in traction force and speed. Since the power of traction electrical equipment (TEO) often varies at different speeds, it varies depending on the realized speed. Such moments allow you to implement very important control modes of traction EPS, often different from those used in traction calculations.

Keywords: urban electric transport, traction electrical equipment, electric rolling stock, traction electrical equipment, electric drive, traction unit.

Режимы нагружения тягового электрооборудования электротранспорта определяются условиями эксплуатации тяговой единицы. Исходя из этого, комплексное, регулярное изучение основных эксплуатационных факторов является важной задачей [1].

Благодаря эксперименту получилось выявить воздействие большинства причин на режимы работы силового привода. Их можно разбить, по возможности управления водителем на две группы – зависимые и независимые [2]. К независимым эксплуатационным факторам можно отнести те, которые заданы и неизменны, к зависимым – те, которые могут быть определены водителем трамвая при реализации движения (рис. 1).

Влияние каждой причины в отдельности и всех в совокупности определяет сложные процессы нагружения силового электрооборудования трамваев.

Для исследования систем нагружения силового электрооборудования при движении ЭПС на участке пути целесообразно воспользоваться величиной ходовой скорости или обратно пропорциональной ей величины времени хода [3].

Повышения уровня ходовой скорости является причиной уменьшения времени хода на заданном участке пути. При этом существенным образом изменяются все основные режимы движения подвижного состава. Увеличение ходовой скорости является причиной уменьшения продолжительности разгона, а значит, увеличивает нагрузку ТЭО трамвая.

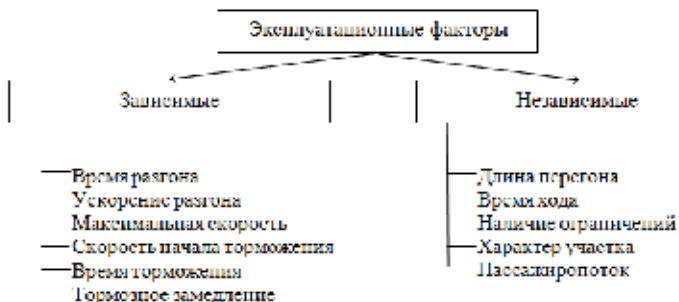


Рис. 1. Классификация эксплуатационных факторов

Скорость начала торможения подвижного состава напрямую зависит от ходовой скорости движения. Для ГЭТ характерны малые участки пути и большие скорости движения, все это приводит к увеличению тормозных потерь, пропорциональных квадрату скорости начала торможения.

Большая скорость начала торможения определяет большие динамические нагрузки на электромеханическое оборудование трамвая и приводит к сильному износу тормозных систем. Анализ эксплуатационных результатов скоростей начала торможения показал, что в данное время крайне нерационально используется систему разгона и выбега, что является причиной больших потерь в режиме торможения.

Удельное электропотребление напрямую зависит от режима разгона, в частности от максимальной скорости разгона.

Приведена кривая движения тяговой единицы на перегоне с однократным включением силовой цепи, с нанесенной на нее кривой потребляемого ТЭД тока (рис. 2).

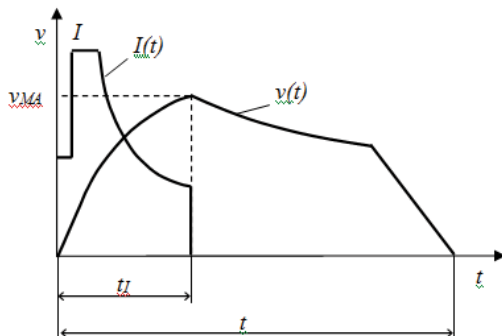


Рис. 2. Кривые для однократного включения ТЭД на перегоне

Использование современных электросчетчиков затруднены тем, что данные счетчики технического учета обладают достаточно низкой чувствительностью и, как правило, учитывают также и расходы на собственные нужды тяговой единицы [4].

Для точного определения расхода электроэнергии на тягу целесообразно использовать кривые потребления тока.

Режимы движения подвижного состава ГЭТ отличаются частым пусковыми и тормозными режимами, что определяет большие уровни потерь. Исходя из этого, большой запас экономии электроэнергии заложен именно в оптимизации режимов нагружения ТЭО трамваев. В настоящее время, имеется множество подходов в решении данной проблемы, но в практическом применении они оказываются не достаточно эффективны.

Литература

1. Аухадеев А.Э. Обоснование режимов нагружения силового электрооборудования трамваев в эксплуатации по критерию энергосбережения : дис. канд. техн. наук : 05.09.03. Казань, 2005. 170 с.

2. Байрыева Л.С., Шевченко В.В. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт. М.: Транспорт, 1986. 206 с.

3. Бакиров А.Р. Разработка методики расчета рациональных эксплуатационных режимов тяговых электродвигателей трамваев : дис. канд. техн. наук : 05.09.03. Казань, 2003. 163 с.

4. Осипов С.И. Испытания локомотивов и выбор рациональных режимов вождения поездов. М. : «Транспорт», 1975. 272 с.

УДК 621.311.001.57

ПРОБЛЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ НЕОБХОДИМОГО УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЦЕХОВОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ КИСЛОРОДНО- КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА

Газизова Ольга Викторовна, Бунин Александр Андреевич
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия
logan_b_7@mail.ru, buninworks1@mail.ru

В данной статье рассматривается влияние потребителей кислородно-конвертерного цеха на уровни напряжения на системах шин главной понизительной подстанции. Анализ влияния данных потребителей с использованием средств статистического анализа, выявление зависимостей изменения напряжения и реактивной

мощности от известных параметров нагрузок в узлах. Рассмотрение наиболее оптимальных мест размещения установок компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: компенсация, реактивная мощность, оптимальное распределение, потребление электроэнергии, кислородно-конвертерный цех.

THE PROBLEM OF MAINTAINING THE REQUIRED VOLTAGE LEVEL OF THE GUILD NETWORK IN THE OXYGEN-CONVERTER SHOP

Gazizova Olga Viktorovna, Bunin Alexander Andreevich

This article examines the impact of consumers oxygen-converter shop for voltage levels on the bus system main step-down substation. Analysis of the impact of these consumers with the use of statistical analysis, identifying dependency of voltage change on real and reactive power loads of known parameters in the nodes. Consideration of the optimal locations for reactive power compensation.

Keywords: compensation reactive power, an optimal distribution, power consumption, the oxygen-converter shop.

Основные проблемы и решения. Совершенствование систем управления технологическими процессами и повышение энергоемкости цехов металлургических предприятий ужесточает требования к поддержанию качества электрической энергии на шинах главных понизительных подстанций.

Повышенные требования к поддержанию требуемого уровня напряжения на шинах 10 кВ обусловлены тем, что основная часть электроприемников: крановые асинхронные двигатели, асинхронные двигатели транспортных линий, а также тиристорные преобразователи – весьма чувствительны к снижению напряжению. Снижение питающего напряжения ниже требуемых значений для таких приемников может вызвать аварийную ситуацию и нарушение технологического процесса.

В то же время сами электроприемники обладают характеристиками, снижающими качество электроэнергии в сети. Сложность анализа данных режимов заключается в том, что уровень напряжения цеховой сети зависит от большого количества факторов. К таким факторам относятся: уровень напряжения со стороны питающей сети, потребляемая нагрузкой активная и реактивная мощность, а также следует учитывать регулирующий эффект нагрузки и состояние дополнительных источников реактивной мощности.

Задача поддержания необходимого уровня напряжения в цеховой сети осложняется различными условиями работы питающей сети и отсутствием возможности постоянного использования системы регулирования напряжения питающего трансформатора 110/10 кВ.

Задачей регулирования напряжения в электрических сетях является обеспечение нормальных технических условий и экономичности совместной работы электрических сетей, электроприемников и связанных с ними производственных механизмов [1].

Вопросы баланса и распределения реактивной мощности, выбора и размещения ее источников, повышения коэффициента мощности и экономичности работы электрических сетей должны рассматриваться совместно с вопросами регулирования напряжения.

В сетях с широко распределенной нагрузкой, с противоположными по характеру нагрузки удаленными распределительными пунктами, достаточно сложно установить зависимость изменения уровней напряжения.

Для прогнозирования изменения уровня напряжения в цеховой сети при различных режимах работы и выявления основных потребителей, влияющих на уровни напряжения и баланс реактивной мощности, в данной статье предлагается использовать статистические методы. Использование статистических методов, не предполагает необходимость использования сложных программных комплексов таких как Matlab Simulink и прочих используемых в целях моделирования [6]. Так как использование данных комплексов в рамках предприятия не всегда целесообразно, ввиду сложности построения математических моделей распределенных сетей.

В данной статье с использованием статистических методов предполагается провести анализ зависимости уровня напряжения в сети 10 кВ подстанции кислородно-конвертерного цеха от значений тока, активной и реактивной мощности электроприемников.

В дальнейшем предполагается определить обоснованность и возможность использования данного метода для определения мест размещения компенсирующих устройств.

Наличие большого количества электроприемников на основных секция 10 кВ подстанции кислородно-конвертерного цеха и отсутствие достоверной информации о режимах электропотреблении обусловили необходимость проведения экспериментальных исследований, для уточнения фактических значений тока, активной и реактивной мощности электроприемников, а также напряжения на 1–2 сборных шинах при различных конфигурациях сети, а также напряжения на стороне сети 110 кВ.

В первую очередь был произведен сбор архивных данных в различных режимах работы и конфигурации сети электроснабжения кислородно-конвертерного цеха. Так как на основных секциях подстанции организовано большое количество электроприемников, то для проведения

анализа, было принято решение на первоначальном этапе структурировать информацию по наиболее мощным потребителям, а также потребителям с резкопеременной нагрузкой.

По каждой секции шин произведена подготовка архивных данных по следующим присоединениям: вводные фидера (ток, активная, реактивная мощность), трансформатор напряжения (напряжение на соответствующей секции подстанции и напряжение на соответствующей секции на стороне 110 кВ, а также по вводам на все литерные распределительные устройства 10 кВ (ток, активная, реактивная мощность). Все архивные данные синхронизированы по времени с периодичностью в пять секунд. Сбор данных производился в течение суток. Для проведения наиболее полного анализа и выявления зависимости изменения напряжения на секции шин от напряжения со стороны сети 110 кВ и нагрузок на литерных подстанциях были собраны данные:

- 1) во время нормального режима работы сети 10 кВ кислородно-конвертерного цеха;
- 2) для ремонтного режима работы подстанции на одном трансформаторе;
- 3) для режима при котором выведен в ремонт один из генераторов ППУ [2].

На первом этапе работы для проведения статистического анализа не учитывалось влияние потребителей с малым коэффициентом загрузки, так как суммарная потребляемая мощность данных потребителей составляет не более 10 % от общей нагрузки. На главной понизительной подстанции секции шин нагружены неравномерно. На 1 и 2 секции шин нагрузка выше, чем на 3 и 4.

Также на 1 и 2 системе шин основная нагрузка имеет индуктивный характер, это асинхронные двигатели насосно-фильтровальной станции, вентиляционной станции, кислородная компрессорная, насосная высокого давления. Коэффициент мощности на данных системах шин находится в пределах 0,73–0,82. На 3 и 4 системе шин нагрузка несколько ниже, чем на 1 и 2. Для анализа зависимости уровня напряжения на 1 и 2 СШ, а также его зависимости от уровня нагрузки, потребления активной и реактивной мощности на отходящих присоединениях, а также от напряжения на вводных линиях 110 кВ головной подстанции проведем статистический анализ данных. Статистический анализ предлагается провести по каждой секции шин, для трех определенных ранее режимов работы системы электроснабжения [4].

На первом этапе был проведен описательный статистический анализ данных, для лучшего представления характера нагрузок, диапазона изменения отдельных параметров в различных режимах сети.

Конечная цель нашего исследования или научного анализа состоит в нахождении связей (зависимостей) между переменными. Одномерный статистический анализ совокупности данных, состоящих из наблюдений и характеризующих их переменных, заключается в рассмотрении каждой отдельной переменной и исследовании их попарной взаимосвязи.

Естественно, такой подход весьма ограничен, так как закономерности и взаимосвязи, присущие всей совокупности, невозможно выявить, исследуя каждую переменную в отдельности [3].

На рис. 1 мы наблюдаем, что напряжение на цеховой подстанции изменяется в том же направлении, что и напряжение на шинах головной подстанции. Однако также видно на графике, что не всегда оно изменяется пропорционально. По анализу массива данных, а также графиков следует вывод, что в данном случае напряжение на шинах цеховой подстанции, зависит не только от напряжения в сети 110 кВ. Для поиска и анализа степени влияния других параметров на степень снижения напряжения необходимо выполнить регрессионный анализ [7].

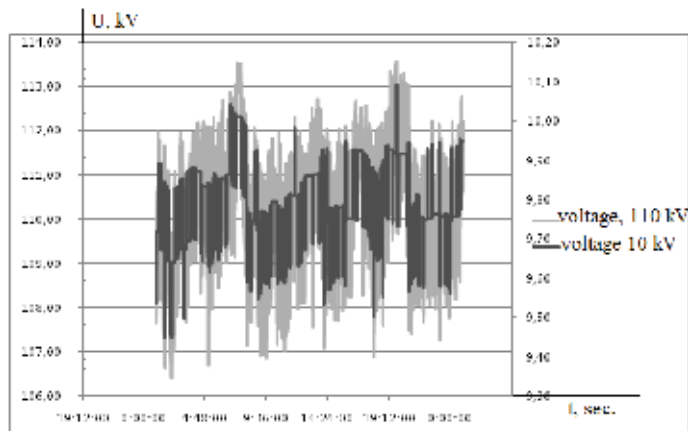


Рис. 1. Изменение напряжения на питающей и цеховой подстанциях

На основании массива данных найдены оценки этих параметров, статистические ошибки оценок и проверена адекватность этой модели экспериментальным данным. Анализ результатов регрессионного анализа

показал, что потребление активной мощности не слишком влияет на уровень напряжения на шинах 10 кВ в нормальном режиме работы.

Однако степень аппроксимации моделью реального процесса остается на невысоком уровне, что говорит о нелинейной зависимости напряжения от представленных параметров [5].

Таким образом, основным по значимости фактором, оказывающим влияние на уровень напряжения 1 и 2 секций 10 кВ является напряжение на питающей подстанции 110 кВ. Вторым по значимости фактором является генерация реактивной мощности на уровне 10 кВ собственными компенсирующими устройствами.

Поэтому для разработки мероприятий по обеспечению уровня напряжения подстанции необходимо выбрать рекомендуемую мощность компенсирующих устройств в зависимости от напряжения питающей сети и величины нагрузки [8].

Выводы: использование статистического анализа нагрузок и напряжений по отдельным присоединениям в системах с распределенной нагрузкой позволяет определить основные направления влияющие на изменения напряжения на системах шин и оценить влияние нагрузки по каждому присоединению на уровень напряжения и баланс реактивной мощности в сети. На основании данного анализа, можно в дальнейшем рассматривать наиболее оптимальные места размещения компенсирующих устройств.

Произведен анализ качества напряжения системы электроснабжения кислородно-конвертерного цеха. Опыт эксплуатации показал, что для нормальной работы диапазон изменения напряжения на шинах подстанции должен составлять 9,8–10,4 кВ. Показано, что при большой пропускной способности трансформаторов главной понизительной подстанции 110/10 кВ уровень напряжения на цеховой подстанции 10 кВ определяется прежде всего напряжением питающей сети, а также мощностью компенсирующих устройств.

Литература

1. Бунин А.А. Повышение качества напряжения в условиях кислородно-конвертерного цеха металлургического производства // Энергетические и электротехнические системы, 2019. № 6. С. 64–72.

2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии, реактивная мощность, качество электроэнергии: руководство для практических расчетов. Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009. 455 с.

3. Никифоров Г.В., Олейников Б.И., Заславец Б.И. и др. Управление энергопотреблением и энергосбережение: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. универ. им. Г.И. Носова, 2013. 422 с.

4. Кучумов Л.А., Мещеряков В.Н., Туркин М.А. Зависимость нагрузки и потерь мощности от напряжения // Новости ЭлектроТехники, 2018. № 2 (110). С. 48–53.

5. Абрамович Б.Н., Каменев П.М. Регулирующие эффекты нагрузки промышленных предприятий и их использования в часы максимума нагрузки энергосистемы // Промышленная энергетика, 1988. № 8.

6. Toomas Vinnal, Lauri Kutt, Heliut Kalda. Analysis of power Consumption and Losses in Relation to Supply Voltage Levels// The 6th International Conference Power Quality and Supply Reliability. Parnu. Estonia. 2008.

7. Герасименко А.А., Нешатаев В.Б. Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электрической энергии: монография. Красноярск: Изд-во Библиотечно-издательского комплекса Сибирского федерального университета, 2012. 219 с.

8. Espinoza J.R., Joos G., Perez M. and Moran L.A., «Operating region in active-front-end voltage/current source rectifiers, ISIE'2000». Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Cholula, Puebla, Mexico, 2000, vol. 2, pp. 459–464.

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПАРАМЕТРЫ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Галеева Раиса Усмановна, Беляков Камилль Юрьевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
raisa_gal.52@mail.ru, belyakov.kamil@mail.ru

При расчетах установившихся и переходных процессов ставится задача определения погонных параметров двухцепной воздушной линии. В статье приведен анализ влияния климатического фактора на величину сопротивления земли и параметры многопроводных линий электропередач путем использования встроенной утилиты Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters.

Ключевые слова: многопроводная схема замещения, матрица сопротивлений, взаимоиנדукция, климатический фактор, конечное сопротивление земли.

INFLUENCE OF THE CLIMATIC FACTOR ON THE PARAMETERS OF WIRELESS POWER LINES

Galeeva Raisa Usmanovna, Belyakov Kamil Yurevich

When calculating steady-state and transient processes, the task is to determine the linear parameters of a double-circuit overhead line. The thesis provides an analysis of the influence of the climatic factor on the value of the earth resistance and the parameters of multi-wire power lines by using the built-in utility Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters.

Keywords: multi-wire equivalent circuit, resistance matrix, mutual induction, climatic factor, final earth resistance

Тенденции к строительству многопроводных воздушных линий электропередач (МВЛ) повышает актуальность проблем, связанных с решением практических задач по определению погонных сопротивлений линий при их проектировании, эксплуатации, выбора систем заземления. Параметры МВЛ определяются множеством факторов, такими, как геометрические характеристики, физические свойства системы проводников, контура возврата тока через землю, климатические условия. Степень влияния отдельных факторов на конкретные численные значения параметров МВЛ не всегда очевидна. Это определяет необходимость детального анализа взаимосвязи между влияющими факторами и параметрами МВЛ [1]. К одному из таких факторов можно отнести климатические условия, которые оказывают значительное влияние на параметры МВЛ и результаты установившихся и переходных процессов.

Многопроводные воздушные линии (МВЛ) и, в частности двухцепные воздушные линии (ДВЛ), традиционно моделируются приближенно, без учета электромагнитного и электростатического влияния соседних проводников, грозозащитных тросов, земли и цепей в целом. Геометрия сети, климатические факторы (вид грунта, влажность, температура) приводят к изменению параметров ДВЛ по каждой фазе провода, которые могут повлиять на расчеты установившихся и переходных режимов.

Наиболее важными факторами, влияющими на величину удельного сопротивления грунта R_3 , являются влажность и температура. С увеличением влажности почвы увеличивается концентрация электролита в почве, и при этих значениях влажности омическое сопротивление грунта будет минимальным, что является критическим фактором при проектировании систем заземления [2]. В зависимости от состава, плотности прилегания друг к другу частиц, влажности, температуры, наличия

растворимых химических веществ удельное сопротивление грунтов изменяется в очень широких пределах от 10 до 1000 Ом·м.

Принята концепция отдельного моделирования электромагнитных и электростатических процессов в ДВЛ, где электромагнитная составляющая многофазной схемы замещения (МСЗ) формируется в виде матрицы Z активно-индуктивных собственных и взаимных сопротивлений, а электростатическая – в виде матрицы собственных и взаимных емкостных составляющих B [3].

В качестве тестируемой модели была рассмотрена сеть с ДВЛ, выполненная проводом марки АС-300/39, напряжение 110 кВ; длина между первой и второй подстанциями (ПС1 и ПС2) $L = 25$ км, опоры типа П220-2, расположение проводов в виде «бочки». Для анализа использовались сопротивления R_3 для одного типа грунта при различной влажности почвы: песок, сильно увлажненный грунтовыми водами $R_{31} = 10\text{--}60$ Ом·м; песок, умеренно увлажненный $R_{32} = 60\text{--}130$ Ом·м; песок влажный $R_{33} = 130\text{--}400$ Ом·м; песок слегка влажный $R_4 = 400\text{--}1\,500$ Ом·м; песок сухой $R_{35} = 1500\text{--}4200$ Ом·м; супесь (супесок) $R_{36} = 150$ Ом·м.

Используя программный комплекс ПК Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters были получены матрицы удельных активных сопротивлений и индуктивностей для тестируемой модели с учетом влажности грунта трассы (рис. 1).

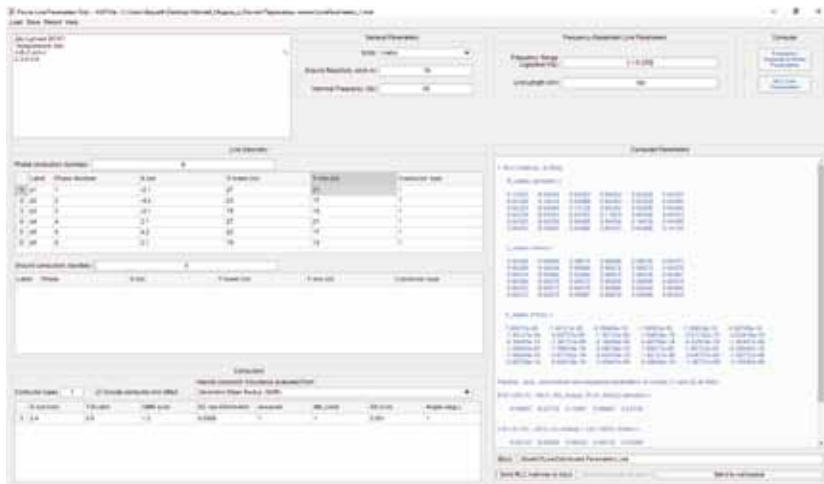


Рис.1. Матрицы удельных активных сопротивлений и индуктивностей для тестируемой модели

Результаты полученных экспериментальных исследований представлены на рис. 2, рис. 3.

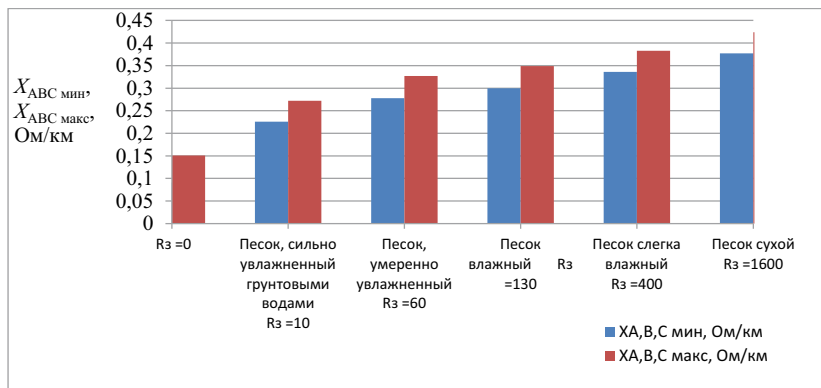


Рис. 2. Зависимость минимального и максимального индуктивных сопротивлений взаимной индукции между проводами фаз А, В, и С от влажности грунта

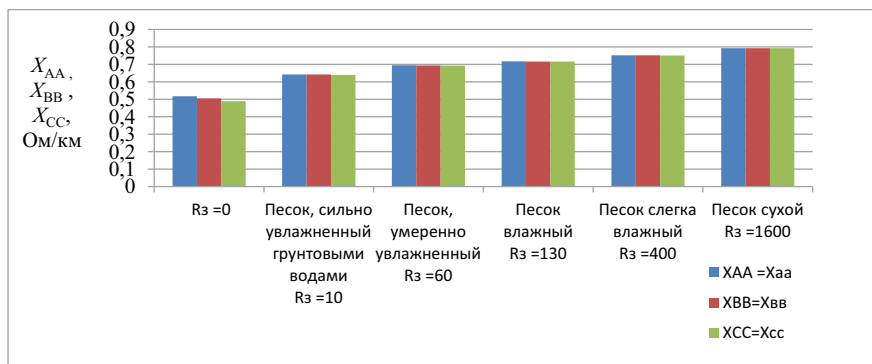


Рис. 3. Зависимость индуктивных сопротивлений самоиндукции между проводами фаз А, В, и С от влажности грунта

Неучет фактора влажности грунта трассы линии дает погрешности в расчете матрицы собственного индуктивного сопротивления проводов в рассматриваемом случае 58 %, взаимного индуктивного сопротивления – от 280 % до 400 %. Методика определения матриц собственных и взаимных сопротивлений ДВЛ с учетом влажности грунта в программном комплексе ПК Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters обладает достаточной простотой и надежностью для применения в практических расчетах.

Литература

1. Галеева Р.У., Назаров А.В., Хасаншин А.А. Влияние электромагнитных связей между проводами двухцепной воздушной линии и поверхностью земли на переходные режимы // Изв. Высш. уч. зав. КГЭУ. Научно-произв. Журнал. Проблемы энергетики, 2019. Том. 21. № 1–2. С. 67–76.

2. Авдеюк Д.Н. Влияние климатических факторов на изменение параметров линии электропередачи // Молодой ученый, 2019. № 48 (286). С. 32–35. Доступно по: URL: <https://moluch.ru/archive/286/64574/>.

3. Галеева Р.У., Беляков К.Ю. Исследование влияния фазировки многопроводных линий электропередач на симметричный аварийный режим // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. (Казань, 18–19 марта 2020 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. Т. 1. 294 с.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Денисова Алина Ренатовна, Исаева Ольга Владимировна,
Семенова Ольга Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
denisova_ar@mail.ru, isaeva.olga01@mail.ru

Статья посвящена проблеме источников света с нелинейными вольтамперными характеристиками. Изменения в текущих кривых, создаваемых нелинейными нагрузками, часто обнаруживаются в осветительной сети. Переход к энергосберегающим технологиям приводит к повышению уровня высших гармоник. В результате проведенных исследований были выявлены негативные последствия использования светодиодных светильников, которые приводят к увеличению тока в нулевом проводе, понижению напряжения в нейтральном и фазовом проводниках.

Ключевые слова: светильник, диммер, энергосбережение, высшие гармоники, показатели качества электроэнергии, светодиод.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NON-LINAL ELEMENTS ON ELECTRICITY QUALITY INDICATORS

Denisova Alina Renatovna, Isaeva Olga Vladimirovna, Semenova Olga Dmitrievna

The article is devoted to the problem of light sources with nonlinear current-voltage characteristics. Changes in current curves created by non-linear loads are often detected in the lighting

network. The relevance of the issue of switching to energy-saving technologies in the form of led lamps in the modern world is touched upon. The transition to energy-saving technologies leads to an increase in the level of higher harmonics. As a result of the conducted research, the negative effects of using LEDs were revealed, which lead to an increase in the current in the zero wire, voltage drops in the neutral and phase conductors.

Keywords: power quality, led light sources, nonlinear load, higher harmonics.

В настоящее время во всем мире стремительно расширяется сфера применения светодиодных технологий освещения. Данные источники света в настоящее время вне конкуренции по таким параметрам, как световая отдача, температурные диапазоны эксплуатации, срок службы, электро- и пожаробезопасность, минимум затрат на техническое обслуживание. Однако, тот факт, что светодиодные источники света имеют нелинейную вольтамперную характеристику, заставляет задуматься об изменениях, вносимых ими в параметры электроэнергетики питающей сети. Постоянный рост доли и мощности источников света с нелинейными вольтамперными характеристиками приводит к возникновению проблемы качества электроэнергии.

Ухудшение параметров качества электроэнергии влечет за собой увеличение потерь в сети, нарушение работы электроприемников, создает опасность возникновения резонанса и перегрузку емкостных цепей.

Проведенные исследования [1–3] показывают, что в распределительных сетях нелинейность светодиодных источников приводит к существенному искажению формы функции и порождению высших гармоник тока и напряжения, а это в свою очередь приводит к падениям напряжения как в нейтрали, так и в фазных проводниках. Высшие гармоники тока кратные трем (т. е. 3, 9, 15, 21 и т. д.), определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые однофазными нагрузками, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных системах. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали. В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи.

Ухудшение показателей качества электроэнергии (ПКЭ) питающей сети способно оказать значительное влияние на технико-экономические характеристики и надежность работы электрооборудования.

Чаще всего потребителем электроэнергии является нелинейная нагрузка. В таком случае в токе потребления возникают гармоники сетевой частоты, возбуждаемые выпрямителями переменного тока и преобразователями (рис. 1). Возникающие высшие гармоники способны вызвать дополнительные активные потери в трансформаторах, двигателях

и генераторах, усиливают процесс старения изоляции, а так же оказывают влияние на погрешности измерительных приборов. Для подавления нежелательных компонентов спектров тока и напряжения можно установить пассивные фильтры гармоник в распределительной сети освещения. Наибольшую эффективность такой фильтр будет иметь при непосредственном подключении между источником питания и нагрузкой [4].

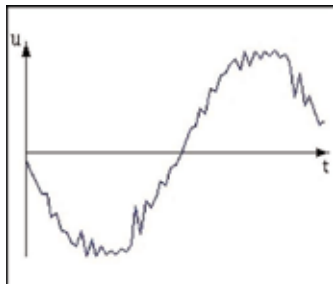


Рис. 1. Характерная форма кривой напряжения при нелинейной нагрузке

Вопросы по улучшению ПКЭ актуальны не только в России, но и за рубежом. Об этом свидетельствуют регулярно проходящие конференции, посвящённые вопросам электромагнитной совместимости и качества электроэнергии: CIGRE (Международная конференция по большим электрическим системам), CIREN (Международная конференция по системам распределения электроэнергии), IEC (Международная электротехническая комиссия) и др. Можно выделить некоторые причины, вызывающие повышенный интерес к проблеме качества электроэнергии: сокращение долговечности электрооборудования (плохое качество электроэнергии может повлечь за собой сокращение долговечности и (или) повреждение электрооборудования, что сопровождается производственными потерями), увеличение производственных издержек.

Вопрос влияния светодиодных ламп на ПКЭ изучается научными группами [5], однако отсутствует информация, насколько изменятся характеристики электроэнергии, если источники света имеют функцию регулирования светового потока в системах автоматизированного управления освещением. Внедряемая нами система автоматического регулирования светового потока ADL-System включает в себя ряд устройств (рис. 2), подключенных к светильнику с возможностью регулирования (светодиодный светильник), которые автоматически

поддерживают освещенность на рабочей поверхности на нормируемом уровне, уменьшая или повышая световой поток светильника.

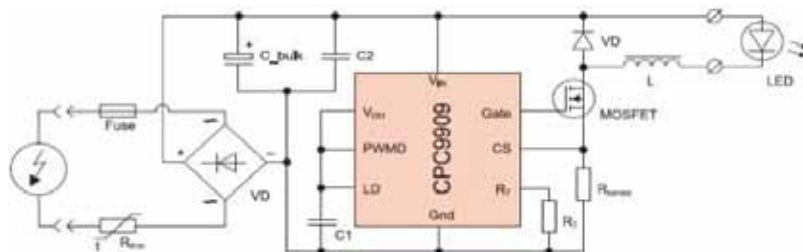


Рис. 2. Схема LED-драйвера на базе CPC9909, используемая в светодиодных светильниках с регулированием

Система интегрируется в каждый светильник, не требуя обвязки слаботочным кабелем, и осуществляет регулирование светильников независимо друг от друга. Принцип работы системы базируется на функции автодиммирования. Для работы в автоматическом режиме в стандартную схему каждого светодиодного светильника добавляется контролер и оптический фотодатчик (рис. 3). Оптический фотодатчик направлен на рабочую поверхность под светильником, чтобы максимально точно измерять величину освещенности [6].

Ранее не изучался вопрос влияния модуля автоматического регулирования на ПКЭ. С целью выявления влияния светодиодных светильников с системой регулирования светового потока на ПКЭ нами планируется провести исследования с помощью анализатора качества электрической энергии для группы светильников с автодиммированием [7].

Литература

1. Кузьменко В.П., Солёный С.В., Шишлаков В.Ф. и др. Измерение качества электроэнергии в системе электроснабжения со светодиодными осветительными устройствами // Научный вестник НГТУ том 74, № 1, 2019. С. 197–212.
2. Васильев С.И., Гриднева Т.С. Оценка влияния энергоэффективных источников света на качество электроэнергии в электрических сетях и системах электроснабжения // Инновационные достижения науки и техники АПК: сборник научных трудов. Кинель: РИО Самарского ГАУ, 2019. С 369–372.

3. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики / №11–12/2018. С. 99–106.

4. Боярская Н.П., Довгун В.П., Кунгс Я.А. Проблемы компенсации высших гармоник в распределительных сетях агропромышленного комплекса // Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск, 2012. 123 с.

5. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

6. Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // Электроэнергия. Передача и распределение, 2020. № 1 (58). С. 38–39.

7. Сенчук Д.А., Цырук С.А., Матюнина Ю.В. Разработка алгоритма ценозависимого управления потреблением электрической энергии на промышленном предприятии // Промышленная энергетика, № 4, 2020. С. 2–7.

8. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутривзаводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 2. С. 65–74.

УДК 621.311

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Роженцова Наталья Владимировна,

³Афонина Надежда Константиновна, ⁴Сафина Гульнара Агзамутдиновна,

⁵Басова Татьяна Геннадьевна

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия

⁴МБОУ «Лицей № 177», г. Казань, Россия

⁵МБОУ «Гимназия 179 – центр образования» г. Казань, Россия

¹denisova_ar@mail.ru, ²natalia15969@yandex.ru, ³nadiaafonina1406@gmail.com,

⁴gulnara71@bk.ru, ⁵basova.t64@mail.ru

Статья посвящена оценке показателей эффективности использования энергоносителей организаций бюджетной сферы. В работе представлена методика

приведения удельных показателей расхода теплоэнергии для конкретных зданий и помещений. Выделяются основные причины завышенных расходов энергоносителей в бюджетных организациях.

Ключевые слова: энергоаудит, энергопотребление, энергоресурс.

ENERGY EFFICIENCY INDICATORS FOR BUDGET ORGANIZATIONS

Denisova Alina Renatovna, Rozhentsova Natalia Vladimirovna,
Afonina Nadezhda Konstantinovna, Safina Gulnara Agumatdinova,
Basova Tatyana Gennadyevna

The article is devoted to the evaluation of the energy efficiency of the public sector organizations. The work presents a methodology for adjusting the specific heat consumption for specific buildings and premises. The main reasons for excessive energy consumption in budget organizations are highlighted.

Keywords: energy audits, energy consumption, energy resources.

Основным показателем, по которому оценивается эффективность использования энергоносителей для организаций бюджетной сферы, является удельное энергопотребление на 1 м^2 в год ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$). Этот показатель используется и в международной практике.

Удельный расход теплоэнергии на единицу площади помещений (при выполнении санитарных норм) характеризует состояние здания, но не характеризует степень использования этого здания. В свою очередь, удельный расход энергоресурсов на одного обучаемого характеризует часть финансовых затрат на обучение, но не учитывает специфику подготовки (лабораторную базу и прочее).

Существуют [1] нормативы удельного расхода тепловой энергии системой отопления, которые можно использовать и для любого региона РФ.

Из таблицы 1 видно, что приведенные нормы упрощены и не учитывают многих факторов. Большинство энергоаудиторских компаний на Западе имеют пакеты компьютерных программ, позволяющих произвести расчет нормированного расхода энергии на отопление для конкретного помещения или здания с учетом особенностей и специфики стен, окон и пр.

Для определения лимита на энергопотребление необходимо определить норму совокупного удельного расхода энергоресурсов с учетом особенностей зданий школы, вуза, профиля подготовки. Лимит на энергопотребление должен соответствовать этой норме. Снижение лимита не должно сопровождаться «недотопом» (т.е. нарушением строительных и санитарных норм). В свою очередь, «перетопы» в периоды

зимних оттепелей должны четко отслеживаться сезонным графиком температур.

Таблица 1

Нормативы удельного расхода тепловой энергии в системах отопления

| Тип здания | Удельный расход тепловой энергии, кВт·ч/м ² ·год | | | |
|-----------------------|---|------------|------------|-------------------|
| | 1–3 этажа | 4–5 этажей | 6–9 этажей | 10 и более этажей |
| Жилые | 200 | 160 | 140 | 115 |
| Учебные и лечебные | 205 | 195 | 185 | – |
| Дошкольные учреждения | 280 | – | – | – |

Для оценки эффективности использования энергоресурсов в бюджетных организациях необходимо разработать:

- классификацию зданий и помещений бюджетных учреждений;
- нормы удельного энергопотребления в зависимости от классификации зданий и помещений, нормы должны быть дифференцированы по видам энергоресурсов, по системам энергопотребления;
- коэффициенты, корректирующие нормы в зависимости от климатического изменения температур, корректирующие цикличность и особенность работы вузов, больниц или учреждений;
- простые и понятные методы энергетического мониторинга.

На рисунке 1 приведена зависимость удельного расхода теплоэнергии в здании от климатического изменения температуры [2]. Существует несколько подходов к описанию модели теплопотребления зданий. Наиболее часто используется линейная модель теплопотребления.

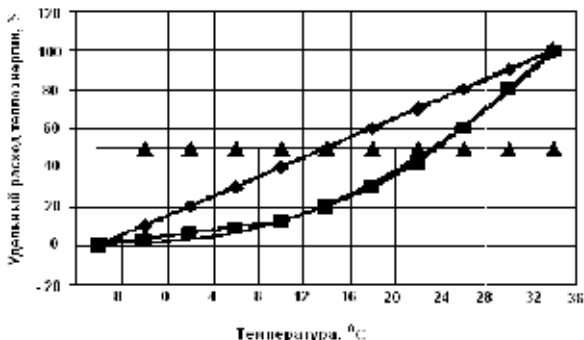


Рис. 1. Зависимость удельного расхода теплоэнергии от климатического изменения температуры

Нормируемый расход теплоэнергии соответствует средней температуре за отопительный период.

Приведение нормируемого расхода теплоэнергии производится следующим образом:

$$w'_{\text{норм}} = w_{\text{норм}} \cdot k_{\text{прив}},$$

где $w'_{\text{норм}}$ – нормированный расход теплоэнергии, приведенный к конкретной температуре; $w_{\text{норм}}$ – нормированный расход теплоэнергии; $k_{\text{прив}}$ – коэффициент приведения.

При использовании линейной модели коэффициент приведения определяется как

$$k_{\text{прив}} = 1 + \frac{dw}{dt} \left(t_{\text{факт}} - t_{\text{ср}} \right) \frac{1}{w_{\text{норм}}},$$

где $\frac{dw}{dt}$ – производная от функции нормированного расхода теплоэнергии; $t_{\text{факт}}$ – фактическая средняя температура воздуха за нормируемый период; $t_{\text{ср}}$ – средняя температура воздуха за отопительный период.

Разработка табличных значений коэффициентов приведения для конкретных зданий и помещений позволит более точно планировать расходы теплоэнергии по месяцам для заключения договоров с тепло-снабжающей организацией.

Аналогичным образом можно рассчитать нормированные расходы других энергоносителей.

Проведенный в Нижегородском регионе энергоаудит [3] показал, что основными причинами завышенных расходов энергоносителей в бюджетных организациях являются:

- слабый контроль руководства организаций за расходом энергоносителей;
- отсутствие в организациях энергетических паспортов;
- отсутствие во многих организациях счетчиков расходов тепловой энергии и холодной воды;
- отсутствие автоматического регулирования систем освещения и неправильный выбор типов осветительных приборов;
- отсутствие автоматизации регулирования систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции;
- большие теплотери через ограждающие конструкции и инфильтрация воздуха.

Как показывает практика, можно получить 15–20 % экономии потребляемых энергоресурсов путем внедрения энергосберегающих мероприятий, срок окупаемости которых не превышает 3 лет.

Литература

1. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности. М.: Изд-во «НЦ ЭНАС», 1998.

2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 248с.

3. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Солнцев Е.Б. и др. Энергоаудит организации бюджетной сферы Нижегородского региона // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. 1999. Выпуск 1. – Н. Новгород, 1999. С. 52.

4. Березовский В.С., Матюнина Ю.В., Цырук С.А. Обеспечение повышенного уровня качества электроэнергии и надежности электроснабжения на договорной основе // Энергетик, 2018. № 9. С. 17–19.

5. Тюрина Э.А., Медников А.С., Елсуков П.Ю. Модульные установки комбинированного производства электроэнергии и жидких топлив на основе древесной биомассы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. С. 113–127.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Сафина Гульнара Агзамутдиновна,

³Панов Дмитрий Юрьевич

^{1,3}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань

²МБОУ «Лицей № 177», г. Казань, Россия

¹denisova_ar@mail.ru, ²gulnara71@bk.ru, ³Panov.dm@bk.ru

В данной статье представлен анализ энергоэффективности общеобразовательных школ на примере г. Казани. Изучалось техническое состояние энергохозяйства общеобразовательных школ, выявлены проблемы, которые остались после проведения ремонтных работ. Составлен перечень мероприятий по повышению энергоэффективности подобных учреждений.

Ключевые слова: энергоэффективность, общеобразовательные учреждения, техническое состояние энергохозяйства школ.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ENERGY RESOURCES USE IN SECONDARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Denisova Alina Renatovna, Safina Gulnara Agmutdinova, Panov Dmitry Yuryevich

This article presents an analysis of the energy efficiency of general education schools using the example of Mr. Kazan. The technical status of the energy use of general education schools was studied, and problems that remained after the renovation work were identified. An inventory of energy efficiency activities of such institutions has been compiled.

Keywords: energy efficiency, general education, technical energy in schools.

Энергосбережение является актуальным и необходимым условием нормального функционирования общеобразовательных учреждений, так как повышение эффективности использования топливно–энергетических ресурсов (ТЭР) дает возможность достигнуть существенной экономии бюджета. Общеобразовательные учреждения обладают значительным потенциалом энергосбережения. Нерациональная эксплуатация ресурсов приводит к потере до 20 % тепловой энергии, до 15 % электрической энергии и 15–20 % воды [1]. Расходы на содержание общеобразовательных учреждений оплачиваются государством из средств местного бюджета. Поэтому экономия средств и их грамотное распределение приведет к тому, что появится резерв для других направлений расходов.

Выделим общие требования к эксплуатации общеобразовательных учреждений, описанные в Правилах и нормах технической эксплуатации жилищного фонда [2]. Пожарная безопасность общественных строений поддерживается постоянной готовностью средств пожаротушения, в том числе системы водопровода и автоматического включения систем дымоудаления, посредством исполнения ремонтных работ и технологического обслуживания их компонентов. Должна быть обеспечена постоянная готовность путей эвакуации: коридоров, проходов, лестниц, тамбуров, выходов и т. п. Двери на резервных эвакуационных маршрутах должны быть оборудованы автоматически раскрывающимися запорами.

Следует сохранять постоянные параметры микроклимата, постоянный тепловлажностный режим формируется эффективной работой систем проветривания и кондиционирования.

Для общественных строений следует правильно рассчитать систему естественного и искусственного освещения. Не менее значимый вопрос для нормального естественного освещения – предотвращение создания

конденсата на стеклах окон. Данная задача решается посредством тщательного уплотнения притворов оконных переплетов, а кроме того поддержания в рабочем состоянии отверстий в нижней части внешних переплетов, создающих равномерную влажность в межпереплетном месте и служащих для отвода конденсата.

Проанализировав инновационные тенденции формирования коммунально-бытовых и производственных процессов в городах, необходимо сосредоточить внимание на том, что безопасность электроснабжения обязана рассматриваться как комплексное мероприятие, заключающееся в безопасности, устойчивости, безотказности и использовании современного энергоэффективного оборудования.

Отметим разделы электроснабжения, которые являются приоритетными при ремонте и модернизации общеобразовательных учреждений. Приведем результаты анализа технического состояния и энергоэффективности средних общеобразовательных учреждений г. Казани. Укажем, что не во всех школах произведен капитальный ремонт и реконструкция системы электроснабжения.

В городе Казань на данный момент построены и функционируют 189 школы.

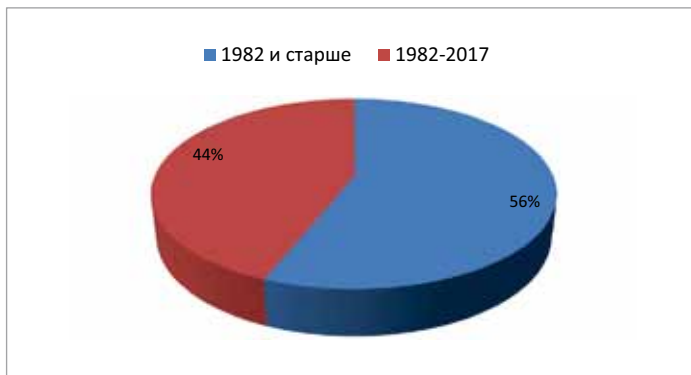


Рис. 1. Анализ годов основания школ г. Казани

На диаграмме рисунка 1 мы приводим разделение «возраста» школ на две группы – до 35 лет и старше. За точку отсчета мы взяли школы 1982-го года и старше, т.к. по программе капитального ремонта школ, стартовавшая в 2012 году по инициативе Президента Республики Татарстан, рассчитанная на 5 лет, ремонт будет произведен только в школах старше 30 лет.

Из графика видно, что большая часть школ 56 % – это школы, основанные 1982-ом году и ранее, поэтому мы решили проводить исследование именно среди этого сегмента.

Для того чтобы конкретизировать года для школ нашего исследования мы еще больше углубились в статистику основания муниципальных учреждений (рис. 2).

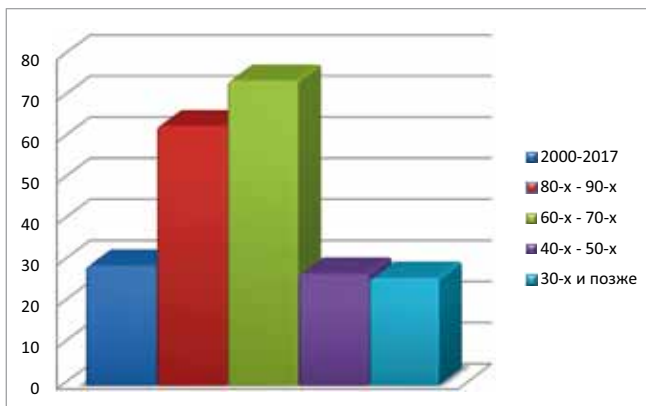


Рис. 2. Годы основания школ Казани

Исходя из данных графика видно, что более всего школ от 35 до 55 лет со дня основания. Это школы, которые должны пройти капитальный ремонт электро-, тепло- и водоснабжения. Мы исследовали реальную ситуацию с энергоэффективностью систем в данных школах.

Для достижения наибольшего эффекта, программа энергосбережения в средних общеобразовательных муниципальных учреждениях должна быть сфокусирована на трех основных ресурсах: электрической, тепловой энергии и водоснабжении [4].

Учреждения образования имеют в основном 5 групп потребителей электроэнергии: освещение (50–70 %), потребители с электродвигателями (10–30 %), различные нагревательные установки (кипятильники, электрические плиты и т.д.) потребляющие от 10 % до 20 % электроэнергии, ЭВМ до 10 % , различные лабораторные стенды. На диаграмме рисунка 3 приведено деление по группам потребителей для рассмотренных школ.

По тепловой энергии можно выделить три группы потребителей тепла: отопление 53–70 %, горячее водоснабжение 16–30 %, вентиляция 10–25 %. По холодной воде в учебных учреждениях выделяются две группы потребителей: общежития 55–70 %, учебные корпуса 45–30 %.



Рис. 3. Группы потребителей электроэнергии в средних общеобразовательных муниципальных учреждениях

Электроснабжение

В ходе нашего исследования было установлено, что около 30 % рассмотренных нами школ имеют устаревшие электрощитовые (рис. 4). Вместо современных автоматических выключателей в них установлены предохранители на 100 и 250 А, которые слабо защищают от токов коротких замыканий, имеют большое собственное время срабатывания и могут привести к пожару. Также в них применяются устаревшие рубильники, и автоматические выключатели.

Система защитного заземления так же требует реконструкции и перехода на систему TN-C-S.

Не смотря на требования Правил устройств электроустановок, предусматривающих применение медных кабелей, не поддерживающих горение и имеющих низкий уровень газо – дымовыделения, в ряде школ используются устаревшие кабели марки КГ 2×2,5, либо кабели с алюминиевыми жилами.



Рис. 4. Электрощитовые в некоторых школах после капитального ремонта

Освещение

В ходе нашего исследования было обнаружено, что в большинстве школ используются в качестве основного освещения лампы ДНАТ и ДРЛ, а не современные светодиодные.

Для освещения помещений в некоторых школах до сих пор можно встретить лампы накаливания. Например, в актовом зале используются люстры с лампами накаливания, которые имеют низкий уровень светового потока и низкую световую отдачу. Отсутствуют системы автоматизации освещения.

Теплоснабжение

Во всех рассмотренных школах установлены пластиковые стеклопакеты, но все же около 20 % школ жалуются на имеющуюся проблему продувания окон. Причиной является изношенные резиновые уплотнители, через которые холодный воздух проникает в помещение, охлаждая его. Чтобы не замерзнуть люди обклеивают пластиковые окна бумажным скотчем (рис. 5). В связи с этим окна нуждаются в замене уплотнителей и регулировке, а в ряде случаев, замене рам.

Одним из эффективных теплосберегающих мероприятий является установка тепловой завесы на входах в помещение. К сожалению, ни в одной из школ такой способ теплосбережения не был использован.



Рис. 5. Оклеивание бумажным скотчем пластиковых окон

Водоснабжение

В некоторых школах была обнаружена неисправная сантехника, имеющая утечки воды. Отсутствуют сенсорные смесители, позволяющие значительно экономить воду. Для хорошей гигиены и санитарной безопасности в столовых и туалетах необходимы автоматические осушители рук.

Анализ школ Казани показал, что основные потери ТЭР прослеживаются при использовании устаревшего оборудования, низкокачественном обслуживании технических систем, а в некоторых случаях, отсутствии капитального ремонта со дня существования учебного заведения.

Нами была составлена программа энергосбережения для общеобразовательных учреждений приведенная в таблице 1.

Таблица 1

Программа энергосбережения

| Электричество | Тепло | Вода |
|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Беззатратные и низкзатратные мероприятия | | |
| Назначение ответственных за контролем расходов энергоносителей и проведения мероприятий по энергосбережению, повышение их квалификации | | |
| Ведение разъяснительной работы с учащимися и сотрудниками по вопросам энерго- и ресурсосбережения | | |
| Агитационная работа, таблички о необходимости экономии энергоресурсов, о выключении света, закрытии окон, входных дверей, смесителей | | |
| Покраска стен и потолков в более светлые тона, побелка, мойка | Установка теплоотражающей плёнки в межрамное пространство окна и за радиаторами | Составление руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию систем ГВС и периодический контроль со стороны руководства учреждения за их выполнением |
| Повышение КПД существующих осветительных приборов вследствие их чистки | Установка экрана теплоотражателя у радиаторов | Снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры |
| Применение рефлекторов на старой осветительной арматуре экономит около 50 % электроэнергии | Применение автоматических дверных доводчиков на входных дверях | Электротриггеримпульсная прочистка систем горячего и холодного водоснабжения, радиаторов и котлов |
| Замена люминесцентных ламп на лампы того же типоразмера меньшей мощности | Отключение вентиляционных установок во время обеденных перерывов и в нерабочее время | |

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|--|
| Среднезатратные мероприятия | | |
| Применение частотного привода для регулирования скорости вращения насосов, вентиляторов и дымососов | | |
| Установка датчиков движения, стабилизаторов входящего напряжения | Установка современных приборов учета тепловой энергии | Применение автоматических сенсорных смесителей с аэраторами – экономит до 50 % горячей и холодной воды |
| Автоматизация освещения, разделение освещения на группы | Установка радиаторных термостатов | Установка счетчиков расхода воды |
| Замена кабелей электрических сетей на современные и безопасные | Гидравлическая наладка внутренней системы отопления | Применение экономичной водоразборной арматуры |
| Применение блокировки вентилятора воздушных завес с механизмами открывания дверей (экономия до 70 %) | Ежегодная химическая очистка внутренних поверхностей нагрева системы отопления и теплообменных аппаратов | |
| | Повышение температуры воды на входе в барабан котла | |
| | Утепления окон и дверей | |
| | Удаление отложений (накипи) со стенок теплоагрегатов | |
| | Перевод системы с теплоносителя «пар» на теплоноситель «горячая вода» | |
| Высокозатратные мероприятия | | |
| Установка светодиодных светильников с опаловым рассеивателем и $T \leq 300$ К | Замена теплового узла на автоматизированный индивидуальный тепловой пункт (ИТП) | Системы мониторинга и регулирования параметров воды в диктующих точках |
| Реконструкция системы освещения | Применение стеклобазальтопластиковых труб | Замена старых труб на трубы ПНД |
| Замена кухонного оборудования на современное энергоэффективное | Применение пенополиуретанной теплоизоляции | Системы быстрой локализации утечек |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Замена электрошитового оборудования на надежное и современное | Утепление конструкций помещений, фасада здания | Автоматизация регулирования системы ГВС |
| Оптимизация системы освещения за счет установки нескольких выключателей и деления площади освещения на зоны | Строительство модульных котельных с тепловой мощностью от 1–3 до 30 МВт | |
| Создание автоматизированных систем диспетчерского контроля и управления (АСДКУ) | | |

Разработанная нами программа энергосбережения полностью окупает себя и дает возможность всем школам, развивать свою энергетическую эффективность и безопасность, сократив свои расходы на 15–30 %.

Дополнительную мотивацию руководителей школ в модернизации имеющегося оборудования и систем энергообеспечения даст возможность использования сэкономленных средств в собственных нуждах школы.

Применять данные мероприятия можно уже сегодня, ведь они практичны и некоторые из них не требуют больших вложений, а некоторые и вовсе беззатратны. При грамотном распределении ресурсов можно перейти к средnezатратным мероприятиям примерно через 1–2 года, а затем, через 4–5 лет к высокозатратным.

Кроме того, в школе имеется возможность организовать сознательное отношение у учеников к сбережению энергоресурсов. С раннего возраста привыкнув к бережливому отношению к ТЭР, сегодняшние воспитанники в будущем будут использовать сформировавшиеся навыки.

Литература

1. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие, 2009. 239 с.
2. Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 № 170 «Об утверждении правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда».
3. Методические рекомендации по пропаганде и популяризации энергосбережения в бюджетной сфере. М.: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2014. 43 с.

4. Березовский В.С., Матюнина Ю.В., Цырук С.А. Обеспечение повышенного уровня качества электроэнергии и надежности электро-снабжения на договорной основе // Энергетик, 2018, № 9, С. 17–19.

5. Rozhentcova N.V., Ganin P.V., Rudakov A.I. Structural and computer optimization model of a solar-wind hybrid electrical system in the software environment *Matlab Simulink* // 2017 international conference on industrial engineering, applications and manufacturing, icieam 2017 Proceedings electronic edition. 2017. Pp. 8076238.

6. Сандаков В.Д. Особенности очистки газовых выбросов с использованием монокристаллических электродов // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 20. С. 269–271.

УДК 621.31

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Дронова Александра Андреевна, Рашевская Марина Александровна
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ» г. Москва, Россия
DronovaAA@mpei.ru, RashevskayaMA@mpei.ru.

Проблема снижения качества электроэнергии является актуальной на сегодняшний день. Это связано в первую очередь с изменением вида нагрузки, увеличением нелинейности и несинусоидальности кривых тока и напряжения в точках ее подключения, а также с резкопеременной нагрузкой, влияющей на уровень напряжения сети. Особенно снижение качества электроэнергии влияет на электрооборудование и приемники, подвергая их риску выхода из строя и поломкам. Чтобы избежать подобных ситуаций, необходимо контролировать качество электроэнергии, поддерживать его и улучшать, используя специальные устройства для регулирования параметров сети.

Ключевые слова: качество электроэнергии, напряжение, регулирование, электрооборудование, колебание, устройство, параметры электроэнергии.

DEVICES FOR MAINTAINING POWER QUALITY

Dronova Alexandra Andreevna, Rashevskaya Marina Alexandrovna

The problem of reducing the quality of electricity is relevant today. This is primarily due to a change in the type of load, an increase in the nonlinearity and nonsinusoidality of the current and voltage curves at the points of its connection, as well as with a sharply variable load that affects the voltage level of the network. Degradation of power quality especially affects electrical equipment and receivers, putting them at risk of failure and breakdown. To avoid such situations, it is necessary to control the quality of electricity, maintain it and improve it using special devices to regulate the network parameters.

Keywords: power quality, voltage, regulation, electrical equipment, oscillation, device, power parameters.

Качество электроэнергии представляет собой свойства, определяющие воздействия на электрооборудование и приборы и оценивается показателями качества электроэнергии. Каждый электроприемник работает при определенных параметрах электроэнергии, поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое качество электроэнергии. Снижение качества электроэнергии приводит к совокупности отрицательных электромагнитных и технологических последствий.

1. Показатели качества электроэнергии

Качественная электроэнергия – это электрическая энергия, параметры которой находятся в установленных нормирующими документами пределах. Показатели качества определяются государственным стандартом ГОСТ 32144-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Всего показателей 11, например, к ним относятся: отклонение напряжения, доза фликера, отклонение частоты, колебания напряжения, несимметрия напряжения и т.д. Рассмотрим подробнее медленные изменения напряжения.

1.1. Медленные изменения напряжения

Согласно ГОСТ 32144-2013 к медленным изменениям напряжения являются положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии от номинального или согласованного значения продолжительностью более 1 мин.

$$\delta U_{(-)} = \left(\frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \right) \cdot 100\% ,$$

$$\delta U_{(+)} = \left(\frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \right) \cdot 100\% .$$

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей; изменения мощности компенсирующих устройств; регулирования напряжения генераторами электростанций и на подстанциях энергосистем; изменения схемы и параметров электрических сетей.

Предельно допустимое значение положительного и отрицательного отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии

не должны превышать 10 % номинального/согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в семь дней.

Негативные эффекты при снижении напряжения: снижение момента асинхронных электродвигателей при понижении напряжения, дополнительный нагрев и износ изоляции АД за счет роста тока при постоянной мощности; снижение светового потока источников света, сокращения срока службы, появление мерцания у разрядных ламп.

1.2. Прерывание напряжения

Прерывание напряжения подразделяют на преднамеренные и случайные. В первом случае пользователя электрической сети информируют о предстоящем прерывании, а во втором прерывание происходит в результате неисправностей, возникших из-за внешних воздействий, отказов оборудования или влияния электромагнитных помех.

К случайным прерываниям напряжения относятся длительные (продолжительность более 3 мин) и кратковременные (продолжительность менее 3 мин). Рассмотрим длительные прерывания напряжения.

Ежегодная частота длительных прерываний напряжения в значительной степени зависит от особенностей системы электроснабжения (применения кабельных или воздушных линий) и климатических условий.

В трехфазных системах электроснабжения к прерываниям напряжения относят такое прерывание, при котором напряжение меньше 5 % опорного напряжения во всех фазах.

1.3. Устройство для поддержания качества электроэнергии

Чтобы поддержать качество электроэнергии необходимо использовать специальные методы и устройства. Одним из таких методов является регулирование напряжения, улучшающий режим напряжения у потребителей и тем самым повышающий качество поставляемой электрической энергии. Регулирование напряжение осуществляется средствами энергосистемы и специальными устройствами, устанавливаемыми на предприятии.

В настоящее время актуально использовать автоматические средства регулирования реактивной мощности, например, такие как АРКОН. Устройство АРКОН осуществляет автоматическое регулирование по напряжению с коррекцией или без коррекции реактивным (активным) током. С помощью АРКОН возможно регулирование медленных изменений и прерываний напряжения. Установка устройства происходит у потребителя.

Работа начинается с того, что на командный блок поступает определенный входной сигнал, в зависимости от которого далее выдается

программному блоку команда на включение или отключение. Принцип работы заключается в последовательной работе элементов структурной схемы, изображенной на рис. 1. Левая часть так называемых триггеров открыта, правая – закрыта. Первый импульс поступает на Tr1 первой приставки и переключает его. Триггер подает сигнал на включение БК и доступ к работе логического элемента И2 второй приставки. Отключение происходит по отдельной линии с подачей импульса. Чтобы защитить БК от частых включений и отключений используют время коммутаций. Соединение и разъединение секций БК осуществляется последовательно и только при условии, если отклонение от заданного значения более 5 минут.

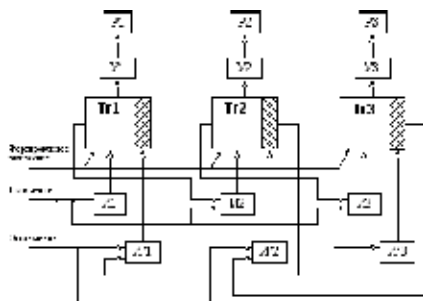


Рис.1. Структурная схема АРКОН с тремя приставками

Регулирование с помощью устройства АРКОН показано на рис. 2.

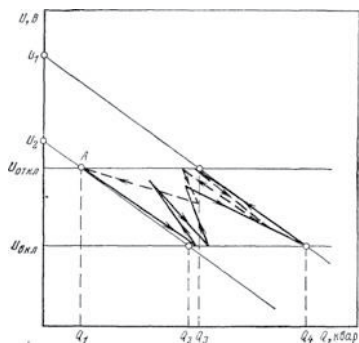


Рис.2. График регулирования мощности с помощью АРКОН

На измерительном органе устройства определяются изменения напряжения при постоянном напряжении сети и изменении нагрузки.

Этому соответствуют наклонные прямые на графике. Горизонтальные прямые соответствуют уставкам отключения и включения устройства АРКОН. Изменение напряжения в сети определяется смещением наклонных линий. При пересечении горизонтальных и наклонных прямых образуются точки, которые являются режимами переключения БК. По ним видно, что в области выше напряжения отключения происходит отключение секций БК, соответственно в области ниже напряжения включения – включение секций БК. При увеличении нагрузки напряжение на ИО снижается и как только доходит уставки включения $U_{\text{вкл}}$ происходит подключение первой секции БК. Напряжение сразу же повышается. Далее с продолжением роста нагрузки напряжение понижается до $U_{\text{вкл}}$ и происходит включение второй секции БК и т. д.

Заключение. Для исправной работы сети и получения потребителем нужного качества электроэнергии, необходимо использовать специальные устройства. При регулировании уровня напряжения на подстанции могут использоваться средства корректирующие коэффициент трансформации. Одной из возможностей регулировать напряжение у потребителя является изменение уровня реактивной мощности. Устройство АРКОН автоматически регулирует реактивную мощность и влияет на изменение напряжения в сети, регулирует его и поддерживает в нужном диапазоне для потребителя.

Литература

1. Все об энергетике, электротехнике и электронике. Технические средства повышения качества электроэнергии: Статья 2021. Доступно по: URL: <https://pue8.ru/kachestvo-elektroenergii/technicheskie-sredstva-povysheniya-kachestva-elektroenergii.html>.
2. ГОСТ 32144-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N-55 П от 25 марта 2013 г.). Доступно по: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>.
3. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие // Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 234 с.
4. Назаров В.В. Надежность электроснабжения. // Новости Электротехники, 2014. № 4. С. 88.

5. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др. Управление качеством электроэнергии: учебное пособие // под ред. Ю.В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Издательский дом МЭИ, 2017, 347 с. : ил.

6. Ivanova V.R., Fetisov L.V., Bulatov O.A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer. 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (Far East Con): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/Far East Con.2018.8602756

УДК 621.31

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО КОРПУСА БУЗ ВО «ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТНАЯ КЛИНИЧЕСКАЯ БОЛЬНИЦА»

Егорова Полина Олеговна, Умаров Максуджон Файзуловевич
ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия
umma54@rambler.ru

Предложен надежный и экономичный проект по оптимизации системы электроснабжения на примере терапевтического корпуса БУЗ ВО «Вологодская областная клиническая больница». Для этого изучены все нормативные акты по особенностям проектирования электроснабжения в медицинских учреждениях, с целью получения готового объекта, сделанного по всем нормам и способного работать на много лет вперед без рисков для жизни пациентов и самих медицинских работников.

Ключевые слова: оптимизация, система электроснабжения, проектирование, расчет освещенности, энергосбережение, электропроводка, тендерная процедура, энергоаудит.

OPTIMIZATION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE THERAPEUTIC BUILDING OF THE "VOLOGDA REGIONAL CLINICAL HOSPITAL"

Egorova Polina Olegovna, Umarov Maksudjon Faizullaevich

A reliable and cost-effective project for optimizing the power supply system is proposed on the example of the therapeutic building of the Vologda Regional Clinical Hospital. For this purpose, all regulations on the design of power supply in medical institutions have been studied, in order to obtain a ready-made object made according to all standards and capable of working for many years to come without risks to the lives of patients and medical workers themselves.

Keywords: optimization, power supply system, design, lighting calculation, energy saving, electrical wiring, tender procedure, energy audit.

В настоящее время вопрос об оптимизации электрической энергии на предприятиях является очень насущным и обуславливается это тем, что с каждым новым днем формируются все новые потребители электрической энергии, а также новые технические подключения в городскую сеть. Сеть представляет собой огромную паутину из проводов, по которым подается электроэнергия конечному потребителю. Поэтому важно чтобы на каждом предприятии с большим потреблением проводился энергоаудит с целью оптимизации энергопотребления предприятия.

Итак, почему же этот проект и данная тема является актуальной в наше время. Для этого есть две главные причины.

Первая – возраст зданий, а соответственно самой проводки. Как правило, капитальные или любые серьёзные ремонты проводят каждые 15–20 лет. За это время, даже правильно сделанная электросеть стареет и изнашивается. А значит, потенциально становится источником опасности. Так же в старых зданиях зачастую всё ещё остаётся алюминиевая проводка, которая от старости становится необычайно хрупким и приводит к аварийным ситуациям, даже если при проверке все показатели были в пределах норм.

Вторая причина – перепланировка и большой ремонт отдельных помещений с добавлением новых электроприборов. Зачастую при ремонте делают врезки и прочие соединения новой проводки со старой, что крайне нежелательно из-за несовпадения характеристик кабеля или материалов в нём.

Основная цель данного проекта: модернизация и реконструкция системы электроснабжения терапевтического отделения БУЗ ВО «Вологодская областная клиническая больница». В ходе работы проводится замена старой электропроводки на новую, замена освещения на более экономичную – светодиодную, установка датчика движения на тех участках, где меньше всего освещение используется и всё это осуществляться по новым стандартам.

Ожидаемые результаты при реализации данного проекта:

Во-первых, замена электропроводки делается для безопасной эксплуатации здания, так как монтаж новой электропроводки производится современными материалами и с учётом современных требований по электро- и пожаробезопасности.

Во-вторых, при замене электропроводки, планируется количество и расположение розеток и выключателей, исходя из потребностей на данный момент. А это значит, что пользоваться такой электропроводкой можно будет гораздо эффективней.

В-третьих, замена электропроводки делается в расчёте на перспективу и значительно расширяет возможности по использованию разной техники.

Ну и в-четвёртых, новая система позволит значительно уменьшить затраты на потребление электроэнергии, за счёт нового освещения и частично техники.

Основные риски и их решение:

1) Цена вопроса. Риск обычно присутствует на инвестиционной фазе проекта и может быть обусловлен как недобросовестностью участников, так и обстоятельствами, связанными с финансовым положением участников, сменой руководства, внешними причинами. Также имеется риск повышения тарифов на электроэнергию, что значительно замедлит окупаемость проекта. В этом случае, решение состоит в правильности расчёта экономической части проекта, где будут учитываться все издержки и погрешности.

2) Ещё один риск, который имеет место быть, ошибки при ремонтных работах – это недобросовестные поставщики или наёмные рабочие. Решение данной проблемы довольно простой – это составление на первой фазе тендерной процедуры хорошо проработанное техническое задание. То есть если в данном документе проработаны даже мельчайшие детали по оборудованию, материалу и услуге, то те компании, которые не смогут предоставить данный продукт просто не смогут участвовать в конкурсе и, следовательно, выиграет та компания, которая сможет выполнить все условия максимально качественно и за меньшую цену.

В результате освоения проекта предполагается провести обследование состояния электропроводки и других аспектов в терапевтическом корпусе и далее его полную реконструкцию. Это действительно важно при нынешней ситуации в стране, когда столько людей с различными видами заболеваний попадают к терапевтам в разной стадии болезни: от простуды до двухстороннего воспаления легких. Без вмешательства врачей, без правильной и точной (без скачков напряжения) работы приборов и освещения здесь не обойтись. Будь то эпидемия коронавируса или обычного сезонного гриппа, а может и простуды, терапевтическое отделение всегда нужно поддерживать в должном состоянии.

В ходе работы выполняются следующие действия. Для начала изучаются все нормативные акты по особенностям проектирования электроснабжения в медицинских учреждениях, для правильной разработки системы. Далее обрабатываются все данные по корпусу. Разрабатывается система электропроводки с применением прошлых изученных материалов. В этой системе применяются светодиодные лампы

и датчиков движения. Составляется техническое задание, и проводится тендерная процедура. После всех согласований ведутся строительномонтажные работы. Проводят пуско-наладочные работы, в конце готовый объект передается заказчику.

В итоге по окончанию данных работ на выходе мы получаем готовый объект, сделанный по всем нормам и способный работать на много лет вперед без рисков для жизни пациентов и самих работников.

Данный проект будет надежней и интересней, чем другие. Прежде всего, все дело в светодиодных лампах. У них высокие показатели светоотдачи, высокий срок службы, благодаря чему возрастает экономичность, которая при условии использования датчиков движения возрастает в разы.

Литература

1. Киреева Э.А., Орлов В.В., Старкова Л.Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. 120 с.

2. Жабько Е.Н., Сафронов В.К. Опыт применения современных материалов и технологий для замены электропроводки // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2016. № 4 (29). С. 120–128.

УДК 629

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Закирова Наргиза Жахонгировна, Павлов Павел Павлович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань,
zakirova_nargiza29.01.96@mail.ru, pavlov2510@mail.ru

В данной статье рассмотрены представлены некоторые методы повышения надежности элементов и систем электроподвижного состава в условиях его эксплуатации.

Ключевые слова: электроподвижной состав, аккумуляторная батарея, надежность, метод, контроль.

RESEARCH ON METHODS OF IMPROVING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL COMPOSITION ELEMENTS AND SYSTEMS UNDER OPERATING CONDITIONS

Zakirova Nargiza Jahongirovna, Pavlov Pavel Pavlovich

This article describes some methods for improving the reliability of elements and systems of electric rolling stock in its operating conditions.

Keywords: electric rolling stock, battery, reliability, method, control.

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (ГОСТ 27,002-89).

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (ГОСТ 27,002-89).

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течении некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Надёжность является одним из самых важных параметров техники. Её показатели необходимы для оценки качества техники, её эффективности, живучести, риска. Надёжность зависит от многих внешних и внутренних факторов и оценивается многими критериями и показателями. Это привело к появлению в теории надёжности большого числа различных терминов и определений. Далее приведены некоторые из них, часто применяемые на практике и в теории.

При эксплуатации батарей, составленных из большого числа последовательно соединенных элементов, например в качестве источников аварийного питания систем автоматики электрического транспорта, нередки случаи, когда отказ батареи происходит из-за выхода из строя одного из элементов. Это становится возможным при внутреннем обрыве из-за истончения и осыпания пластин у кислотно-свинцовых аккумуляторов типа АБН-72, АБН-80, ССАП-76 (их номинальное напряжение $2,25 \pm 0,05$ В). По этой причине нередко сбои в работе устройств автоматики. А так как эти устройства являются малообслуживаемыми и регламентные проверки проводятся не чаще 1 раза в 4 недели, то для предотвращения сбоев и отказов было предложено подключить, параллельно каждому элементу, диод включенный в обратном направлении. При нормальной работе любого из элементов, работающий с ним в паре диод находится в запертом состоянии. Для этого катод соединен с положительным выводом элемента. При выходе же из строя какого-либо аккумулятора (обрыве) его напряжение уменьшится и диод откроется. Таким образом, неисправный элемент исключается из общей цепи – он будет замкнут прямым сопротивлением диода.

Допустимый прямой ток диодов должен быть не менее двухкратного наибольшего тока разряда батареи. Их обратный ток должен быть минимальным. При последовательном соединении элементов в батарее допустимое обратное напряжение диодов не имеет значения, т. к. оно заведомо больше ЭДС одного элемента. Разумеется, чистота поверхности батареи и клемм, а также надежность крепления последних на полюсных выводах и правильное натяжение ремня генератора - обязательны. Следующий уровень заботы о состоянии батареи требует контроля напряжения на ее выводах, поддерживаемого регулятором напряжения при работающем двигателе. Хорошо известно, что аккумулятор весьма чувствителен к зарядному напряжению и существует оптимальное его значение, отклонение от которого приводит к заметному уменьшению срока службы аккумулятора. Так, отклонение напряжения на 10 % относительно оптимального ускоряет выход из строя батареи в 2–2,5 раза. При этом часто забывают, что сама величина оптимального напряжения довольно сильно зависит от температуры электролита: с повышением температуры оптимальное напряжение для свинцовых 12-вольтовых аккумуляторных батарей, работающих в буферном режиме, снижается со скоростью примерно 25 мВ/°С. Это означает, что если при температуре электролита +25 °С оптимальное напряжение равно 13,8 В, то при –25°С оно должно составлять примерно 15,0 В, а при +40 °С – 13,4 В.

Системы контроля и регулирования («регуляторы напряжения») играют очень важную роль в продлении срока службы аккумуляторной батареи. В конструкции большинства современных электронных регуляторов принимаются меры по температурной стабилизации напряжения, но они не учитывают плотность электролита, а также напряжение в каждой батарее. На практике это приводит к тому, что летом зарядное напряжение превышает оптимальное на 10 %, аккумулятор перезаряжается, электролит «кипит», что сопровождается не только разложением электролита и потерей воды, но и, что гораздо важнее, отрывом частиц активной массы электродов и накоплением на дне банки аккумулятора шлама. В результате требуется частая доливка дистиллированной воды, емкость батареи неуклонно снижается, и в конце концов, через слой шлама или оплывшую активную массу происходит короткое замыкание электродов.

Так же одним из важнейших аспектов в эксплуатации электронных систем автомобиля является контроль параметров аккумуляторной батареи (АКБ) и диагностирование (прогнозирование) ее состояния. Ведь аккумулятор это основа работоспособности всей электронной системы автомобиля.

Известны конструкции некоторых систем для мониторинга состояния аккумуляторной батареи, а так же изменения ее параметров. Системы мониторинга относятся к комплексным контрольно-проверочным системам, а именно к бортовым системам для контроля работоспособности и диагностики неисправностей обслуживаемых и необслуживаемых аккумуляторных батарей различных объектов на базе средств вычислительной техники.

Примером может служить устройство для определения параметров свинцового аккумулятора, предназначенное для определения напряжения, уровня и температуры электролита, остаточной емкости и диагностического параметра свинцового аккумулятора, позволяющего оценивать сопротивление диффузии электролита и устанавливать время проведения профилактических мероприятий (патент РФ на изобретение № 2127010). Но это опять же статический прибор для измерения параметров АКБ.

Так же можно рассмотреть прецизионный монитор АКБ Expert-PRO, особенностью которого является возможность измерения остаточной емкости аккумулятора независимо от нагрузки. Самый простой способ определить, насколько заряжена АКБ - это измерить напряжение. Однако, это так же крайне неточный способ, так как напряжение АКБ может сильно изменяться в зависимости от силы тока снимаемой нагрузки.

Внедрение этой системы позволит обеспечить постоянный и непрерывный сбор информации по основным параметрам (напряжение, ток, ёмкость, уровень электролита, температура) каждого элемента аккумуляторной батареи, сократить ручной сбор информации и облегчить эксплуатацию аккумуляторных батарей.

В корпусе (крышке) АКБ предлагается создать диагностический комплекс по мониторингу и обработке не только выше указанных параметров, но так же параметра плотности и некоторых других с последующей передачей обработанных данных на дисплей. Для сбора этих параметров каждой из 6 секций АКБ (стандартный аккумулятор легкового автомобиля) установим по 3 типа погружных датчиков: датчики плотности, температуры, уровня электролита и вольтметр, которые будут собирать соответствующие показания плотности, температуры, уровня и напряжения с последующей передачей на контроллер и обработкой.

Таким образом, подводя итоги можно отметить, что использование новых систем для мониторинга АКБ совместно с предложенными конструкциями регуляторов напряжения позволит своевременно выявлять проблемные места не только в АКБ, но и в системе питания автомобиля в целом, а так же даст возможность более точно контролировать и регулировать заряд аккумуляторной батареи.

Литература

1. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 // Под ред. С.В. Покровского. М.: Интекст, 2009. 356 с.
2. Грищенко А.В., Стрекопытов В.В., Ролле И.А. Устройство и ремонт электровозов и электропоездов : учебник для нач. проф. образования // под ред. А.В. Грищенко. М. : Издательский центр «Академия», 2008.
3. Карпатенко А.В. Диагностика технического состояния машин: учебное пособие, 2017.
4. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: учебное пособие. СПб.: Лань, 2016. 376 с.

УДК 629.03

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ СИСТЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Закирова Наргиза Жахонгировна, Снежинская Ева Сергеевна,
Павлов Павел Павлович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
zakirova_nargiza29.01.96@mail.ru, evasnezh@mail.ru, pavlov2510@mail.ru

В данной статье рассмотрены такие методы обнаружения отказов и неисправностей некоторых частей электроподвижного состава, как безразборная диагностика и дефектоскопия. В каждом методе описаны виды и способы диагностирования систем и элементов электроподвижного состава.

Ключевые слова: электроподвижной состав, отказ, диагностика, дефектоскопия, безразборная диагностика, контроль.

METHOD OF DETECTING FAILURES OF SYSTEMS OF ELEMENTS OF ELECTRIC ROLLING STOCK

Zakirova Nargiza Jahongirovna, Snejinskaya Eva Sergeevna,
Pavlov Pavel Pavlovich

This article discusses such methods of detecting failures and malfunctions of some parts of the electric rolling stock, as non-selective diagnostics and flaw detection. Each method describes the types and methods of diagnostics of systems and elements of electric rolling stock.

Keywords: electric rolling stock, failure, diagnostics, flaw detection, gas-free diagnostics, control.

Специфика и устройство электроподвижного состава (ЭПС) определяют основные методы и способы технической диагностики, к которым относятся – безразборная диагностика и дефектоскопия [1].

Безразборная диагностика применяется для проверки основных параметров элементов и систем, электромеханических узлов, электрических аппаратов и машин, т.е. элементов, обеспечивающих безопасность движения электроподвижного состава без демонтажа тяговых двигателей (машин) [2]. Диагностические данные сравниваются с данными допустимых отклонений, которые соответствуют исправным тяговым двигателям (ТД). По результатам проведенного анализа делается вывод о текущем техническом состоянии ТД и принимается соответствующее решение (продолжить эксплуатацию или направить в ремонт). Применение таких методов контроля технического состояния ТД дает значительный экономический эффект: создаются оптимальные условия для регулирования рабочих параметров, которые влияют на надежность и эффективность функционирования ТД и износ его деталей; предупреждаются аварийные состояния ТД; поддерживаются условия сопрягаемой обкатки. В результате повышаются надежность и долговечность, увеличиваются сроки капитального ремонта и снижаются затраты на ремонт ТД [2,3].

Разработаны методы и технические средства определения дефектов с не разборкой двигателей, компрессоров, насосов, редукторов и др.

Наиболее распространенными являются следующие методы:

- диагностика по внешним признакам работы (шум, задымленность, нагрев, вибрация, утечка, пропаривание и др.);
- измерение выходных рабочих параметров (мощность, скорость и др.);
- измерение параметров рабочих процессов (давления, температуры, скорости рабочих элементов, расхода рабочего вещества и др.);
- анализ состава продуктов износа при трении (или другом виде износа);
- анализ состава и свойств веществ, используемых в рабочих процессах.

Вибродиагностика является одним из наиболее эффективных и простых методов контроля технического состояния ТД. Любой элемент электроподвижного состава представляет собой сложную кинематическую систему со множеством движущихся пар. Работа любой движущейся детали, будь то подшипники, шестерни, передачи, валы, гайки и винты, сопровождается определенной вибрацией, точнее её физическими параметрами – амплитудой виброперемещения, виброскоростью, вибро-

ускорением, периодом колебания или частотой. Изменение геометрии этих деталей и/или условий эксплуатации сразу же приводит к изменению виброхарактеристик. Это базовый принцип безразборной вибродиагностики. С помощью специальных приборов акселерометров, которые устанавливаются в контрольных точках ТД регистрируются текущие значения параметров вибрации и сравниваются с эталонными значениями, которые соответствуют нормальной процессу функционирования. Отклонение – и есть предмет исследования неразборной вибродиагностики [4].

Дефектоскопия применяется для диагностики элементов с целью выявления в них дефектов.

Наибольшее распространение получили следующие методы:

1. Акустический метод дефектоскопии (методом закалки) применяется для контроля болтовых соединений, плотности посадки деталей. Низкий тон, битье указывает на наличие ослабленных швов, посадку, трещины в предварительно напряженной детали (полосе колесной пары) и т. д.

2. Метод цветной дефектоскопии основан на активном проникновении смачивающей жидкости в трещины и поры контролируемой детали, а затем в капли проявляющегося покрытия. Состав смачивающей жидкости: керосин – 80 %; трансформаторное масло – 15 %; скипидар – 5 %; краска «Судан-3» - 10–15 г/л или красная проникающая жидкость К (МРТУ 6-10-750 - 68). Состав проявляющего покрытия: 600–700 г каолина на 1 л воды или белой проявляющей жидкости М (МПТУ 6-10-749-68).

Технология проверки: деталь очищают и обезжиривают, поверхность детали обильно смачивают проникающей жидкостью, затем наносят проявочную жидкость, деталь осматривают с помощью увеличительного стекла. Трещина выявляется в виде четкой линии.

Способ обеспечивает обнаружение трещин глубиной 0,01–0,3 мм и шириной раскрытия 0,001–0,002 мм и более. Применяется в основном для управления крупногабаритными деталями: элементами рам тележек и кузовов, колесными центрами, автосцепками и др. [1,5].

3. Поверхностные и скрытые дефекты обнаруживаются магнитной дефектоскопией. Для создания магнитного поля в испытуемой детали используются следующие типы дефектов.

В качестве индикатора используется магнитный порошок ПЖ-40М (железный порошок очень мелкий) или ПЖ-4М. Индикация осуществляется сухим порошковым или суспензионным методом. Суспензию готовят путем смешивания 150–175 г порошка с 1 л жидкой основы (смесь трансформаторного масла и керосина). Перед проверкой предварительно

проверяется качество магнитной смеси и эффективность работы дефектоскопа по эталонному стандарту.

Технология проверки: деталь тщательно очищается от загрязнений до металлического блеска, на деталь наносится и включается дефектоскоп, детали в зоне эффективного контроля покрываются суспензией, а остатки удаляются. Разрыв обнаруживается по скоплению темного порошка на белом фоне детали. Дефектоскопирование ведется последовательным перемещением дефектоскопа и поворотом детали. После проверки производят размагничивание детали. Детали с темной поверхностью проверяют цветным магнитным порошком.

4. Ультразвуковой метод дефектоскопии используется для выявления дефектов, залегающих в глубине детали. Высокая разрешающая способность позволяет применять его также для безразборного диагностирования. Применяют несколько типов дефектоскопов: УЗД-64, 2ДМ-1М, ДУК-ПИМ.

Технология проверки: работа дефектоскопа предварительно проверяется по эталону. Поверхность детали очищается от загрязнений, шлифуется и смазывается машинным маслом для улучшения акустического контакта. Зонд прижимается к поверхности детали. Дефекты обозначаются импульсом на экране электронно-лучевой трубки, а также световым и звуковым сигналом. Границы трещин задаются перемещением зонда вдоль детали, а глубина залегания дефекта определяется глубиномером. Ультразвуковому контролю подлежат: подходы осей колесных пар, коленчатых валов и поршней дизелей, полюсные болты электрических машин (без разборки), сварные швы на ответственных узлах [6].

Результаты проверок деталей заносятся в специальный журнал установленных деталей. Детали с обнаруженными трещинами и другими дефектами учитываются в журнале учета критических деталей и т. д. Записи заверяются дефектоскопом и мастером. Дефектоскопы должны проверяться не реже одного раза в 6 месяцев. Проверку электрических характеристик производят не реже 1 раза в год [7].

Литература

1. Грищенко А.В., Стрекопытов В.В., Ролле И.А. Устройство и ремонт электровозов и электропоездов : учебник для нач. проф. образования // под ред. А.В. Грищенко. М. : Издательский центр «Академия», 2014.

2. Мукимов А.Х., Сидорова А.А., Павлов П.П. Диагностика тяговых электрических двигателей В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития // Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников, 2018. С. 87–88.

3. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Павлов П.П. Оценка влияния надежности элементов наземного городского электрического транспорта на его пропускную способность // Надежность и качество сложных систем. Организация и безопасность движения. Москва, 2017. № 8. С.95–103

4. Сидорова А.А., Мукимов А.Х., Павлов П.П. Надежность электроподвижного состава // В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития / Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников, 2018. С. 107–108.

5. Романовский А.И., Дульский Е.Ю., Макаров В.В. Тяговые аппараты и электрическое оборудование // учебное пособие. Иркутск: Издательство ИрГУПС, 2013. С. 84.

6. Павлов П.П., Гараева А.Р., Истоппленников М.А. Определение технического состояния электротехнического оборудования электроподвижного состава // Международная НИК «Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития». СамГУПС, Самара – Оренбург, 5 апреля 2017 г. С. 37–38.

7. Auhadeev A.E., Idiyatullin R.G.,Kisneeve L.N., etal. Identification of electric traction in the urban electric transport system. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019,643(1),012028.

УДК 620.9

О ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

¹Иванова Вилия Равильевна, ²Жукова Юлия Владимировна

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань

²МБОУ «Средняя общеобразовательная школа № 135», г. Казань, Россия
vr-10@mail.ru, ybgukova@list.ru

Статья посвящена анализу становления цифровых технологий в энергетической области. Рассмотрены основные преимущества использования подобных устройств и систем, а также ряд проблем, тормозящие внедрение цифровых инноваций; представлены критерии для построения стратегии цифровой трансформации; сформулированы выводы.

Ключевые слова: трансформация, цифровизация, инновации, стратегия, интеллектуальные устройства, распределенная автоматизация, возобновляемые источники энергии.

ABOUT DIGITAL TRANSFORMATION IN THE ENERGY SPHERE

Ivanova Vilia Ravilyevna, Zhukova Yulia Vladimirovna

The article is devoted to the analysis of the formation of digital technologies in the energy field. The main advantages of using such devices and systems are considered, as well as a number of problems that hinder the introduction of digital innovations; the criteria for building a digital transformation strategy are presented; conclusions are formulated.

Keywords: transformation, digitalization, innovation, strategy, smart devices, distributed automation, renewable energy sources.

В настоящее время в энергетической области идет активное внедрение цифровых устройств. Цифровизация обеспечит новый формат управления работой энергосистемы. Результатами такой модернизации станет повышение эффективности, повышение качества энергоснабжения потребителей, создание интеллектуальных систем, развитие активно-адаптивной сети. Реконструкция и обновление коснутся генерирующих объектов, систем передачи и распределения электрической энергии [1].

Основой проекта по цифровизации станет разработка комплекса и алгоритма (или методики) внедрения новых технологий в энергосистему. Подобный комплекс даст возможность контролировать максимально возможное число разнообразных факторов и использовать результаты мониторинга для повышения энергоэффективности энергоснабжения. Он будет предполагать наличие интеллектуальных устройств мониторинга и диагностики системы; цифровых трансформаторных подстанций; участков на базе возобновляемых источников энергии для реализации распределенной генерации; устройств автоматического управления и защиты воздушных линий электропередачи; приборов коммерческого учета электроэнергии [4]. Такая система будет способна сохранять работоспособность при нескольких последовательных отказах, что снизит вероятность возникновения аварии в несколько раз.

По оценкам экспертов основными преимуществами интеллектуализации сетей станут:

- самовосстановление в результате сбоев подачи электричества;
- высокое качество поступающей энергии;
- кибербезопасность;
- обеспечение синхронной деятельности ключей генерирования и узлов сбережения электрической энергии;

– снижение экологических и топливных платежей [2].

Цифровая трансформация, а именно смена технологического уклада и неизбежные структурные изменения, влекут также и ряд проблем, которые тормозят становление новой системы.

Бесспорным является тот факт, что «революция» в энергетической отрасли не может быть построена на стандартных решениях. Поэтому для каждой организации, компании или объекта энергетики требуется определенная стратегия внедрения цифровых технологий с возможностью адаптации ее дорожной карты в будущем. Последнее является значительной проблемой на пути к трансформации. Здесь организации должны следовать определенному плану, который будет учитывать все стратегические стороны согласно стандартам Международной электротехнической комиссии, а именно, в первую очередь, взаимосвязи между устройствами согласно новейшим сетевым технологиям; рекомендации по построению комплексов релейной защиты и автоматики; интеллектуализация устройств для развития активно-адаптивной сети и др. [3].

Для решения указанной проблемы компания помимо вышеуказанных рекомендаций должна быть готова к реформированию своей структуры для четкого регулирования на всех уровнях цифровой трансформации.

Помимо отсутствия стратегии у компаний имеется еще одна существенная преграда – это отсутствие соответствующих специалистов или кадров, либо имеется необходимость приобретения определенных навыков и знаний работниками предприятий. В результате чего задача становится трудоемкой и затратной в связи с необходимостью обеспечения сотрудников цифровыми инструментами как для работы так и для обучения. Наслоение оперативных задач у сотрудников также приводит к уменьшению продуктивности. Большинство отечественных организаций имеет малое количество специалистов в данной сфере, что требует проработку вопроса более плотного сотрудничества с энергетическими вузами. Оптимизация общей системы также станет решением указанной проблемы [5].

В результате анализа была выявлена еще одна задача, которую необходимо учитывать компаниям при цифровой трансформации. Она связана с кибербезопасностью, а именно сохранностью конфиденциальных данных. Решением указанной проблемы становится встраивание дополнительных приложений в систему для осуществления мониторинга и защиты. Последнее приводит к дополнительным тратам компании, не обладая достаточным бюджетом организации не готовы к реин-

жинирингу, что опять приводит к торможению развития интеллектуализации и трансформации системы в целом.

Цифровизация предполагает переход на более высокий уровень автоматизации технологических процессов, коммерческого учета, развитие клиентских серверов, интегрирование в различные приложения и т.п., которые обеспечат высокую эффективность в приоритетных областях развития. Перечисленные проблемные участки при трансформации безусловно решаемы, но для успешного их разрешения и внедрения инноваций имеется необходимость на пути следования по сценарию цифрового развития, использовать методы не только простой реконструкции имеющихся объектов, но и использовать различные инновационные технологии распределенной энергетики (несмотря на риски), которые могут обеспечить существенные сокращения потребления энергии.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередачи и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

Литература

1. Иванова В.Р., Каримуллин С.М. Перспективы внедрения цифровых подстанций // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2020. Т. 1. С. 197–201.

2. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В. Обзор устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей электрического тока, применяемых при проектировании интеллектуальных и активно-адаптивных сетей // Сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов» Изд-во ТГУ, 2019. С. 313–317.

3. Rozhentcova N.V., Ivanova V.R., Fetisov L.V., et al. Development of ast and construction concept for safe and efficientafter-repairtests of induction motorsupto 1 kV // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp 146–150.

4. Иванов И.Ю., Ференец А.В. Повышение чувствительности и быстродействия дифференциальной релейной защиты путем исполь-

зования вспомогательных признаков аварийных режимов // Промышленная энергетика, 2014. № 5. С. 13–18.

5. Некрасов С.А., Цырук С.А. Трансформация требований к развитию энергоснабжения в результате расширения использования возобновляемых источников энергии // Промышленная энергетика, 2018. № 4. С. 37–42.

6. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С. и др. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. С. 3–9.

УДК 621.311

НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ СТАНДАРТОВ РФ К МЕЖДУНАРОДНЫМ

Исаев Андрей Станиславович, Фатюшина Екатерина Юрьевна
ФГБОУ ВО «Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева»,
г. Новомосковск
ASIsaew@nirhtu.ru, EYFatyushina@nirhtu.ru

Рассмотрены особенности расчета аварийных режимов (токов короткого замыкания) в системах электроснабжения (СЭС). Построены математические модели в Matlab. В результате работы предложены направления адаптации международных стандартов анализа аварийных режимов к нормативным документам РФ.

Ключевые слова: надежность, система электроснабжения (СЭС), ток короткого замыкания, аварийный режим, термическая стойкость, ударный ток.

DIRECTIONS FOR ADAPTING RUSSIAN FEDERATION STANDARDS TO INTERNATIONAL

Isaev Andrey Stanislavovich, Fatyushina Ekaterina Yurievna

The features of calculating emergency modes (short-circuit currents) in power supply systems (SES) are considered. Mathematical models are built in Matlab. As a result of the work, directions for adapting international standards for the analysis of emergency modes to the regulatory documents of the Russian Federation are proposed.

Keywords: reliability, power supply system (SES), short-circuit current, emergency mode, thermal stability, stability, shock current, short-circuit current components.

Анализ аварийных режимов СЭС (системы электроснабжения) определяется, прежде всего, режимом короткого замыкания. При этом выделяются два основных направления: определение максимальных значений режимных параметров для проверки электрооборудования по

условиям наиболее тяжелого режима (термическая и электродинамическая стойкость); минимальных значений – для проверки устройств релейной защиты на чувствительность (способность автоматики реагировать на повреждения). Теория расчета коротких замыканий разработана в достаточной мере и подробно изложена в [1].

Объектом нашего исследования является ООО «Щекиноазот». Особенностью функционирования данного предприятия являются тесные связи с зарубежными партнерами: в области технологии фирмы Германии («Top Werk GmbH») и Дании («Haldor Topsøe»), в области проектирования и монтажа объектов – Китая (концерн «China National Chemical Engineering»). Актуальность исследования режимов связана с развитием предприятия – планируется строительство производства азотной кислоты и капролактама.

Предприятие имеет два независимых источника – питается от энергосистемы (две ГПП напряжением 110/6 кВ) и от ТЭЦ «Первомайская» (установленная мощность 125 МВт). В ближайшее время планируется реконструкция одной из ГПП и строительство новой ТЭЦ (существующая ТЭЦ сдана в эксплуатацию в 1953-м году, срок ее службы уже превышает средние сроки работы подобных объектов). На предприятии значительна доля высоковольтной нагрузки (основные технологические агрегаты) напряжением 6 кВ, включая генераторную установку в производстве серной кислоты.

Установлено существенное расхождение принятых режимных параметров по сравнению с опытом проектирования подобных отечественных объектов (значения аварийных режимов и принятые на их основе уставки РЗиА). В широком смысле – проблема адаптации международных стандартов к нормам РФ является актуальной и на протяжении последних пяти лет в этом направлении ведутся исследования и активные дискуссии [2].

Базовый стандарт РФ (далее – ГОСТ РФ) изложен в [3]. На его основе разработаны различные руководящие документы и инструкции. Международный стандарт (далее – стандарт МЭК) наиболее полно для расчетной части для высоковольтных сетей представлен в [4], для низковольтных – в [5]. Расчетные методики можно принять идентичными, т.к. все они основаны на использовании узловых уравнений при задании источников энергии постоянными ЭДС. В этом случае вычислительный процесс сводится к решению систем линейных уравнений прямыми методами расчета и приводит к аналогичным расчетным соотношениям.

Прежде всего, необходимо отметить значительное расхождение в области основных понятий и определений. В частности, стандарт МЭК

определяет «термический ток», как допустимый длительно из условий нагрева проводника. Следовательно, это ток не аварийного, а рабочего режима (возможно, отличающегося от номинального). В целом, задача исследования и адаптации понятийного аппарата международных стандартов к отечественным является важным направлением работы.

В расчетной части стандарт МЭК существенно отличается от ГОСТ РФ при формировании начальных условий расчета, прежде всего, для источников энергии. В соответствии с ним: параметры схемы замещения каждого отдельного источника не рассчитываются по параметрам предшествующего режима, а принимаются по номинальному режиму (величина ЭДС принимается близкой к номинальному напряжению – $0,9 \div 1,1 \cdot U_{\text{НОМ}}$); большинство источников принимаются как работающие на холостом ходу (подпитка от них игнорируется); отсутствует такое понятие как «обобщенная нагрузка» (согласно ГОСТ РФ – эквивалентный источник, включающий в себя мелкие асинхронные двигатели и осветительную нагрузку); сопротивления прямой и обратной последовательности принимаются равными друг другу; токи несимметричных КЗ определяются на основании известных токов трехфазного КЗ $K^{(3)}$ (по стандартам РФ – методом эквивалентности прямой последовательности, который является следствием метода симметричных составляющих), подпитка от двигательной нагрузки учитывается при условии, что суммарный номинальный ток двигателей превышает 1 % тока начального КЗ от системы.

Помимо этого, повреждение в области РУ НН ТП выносится за пределы расчета. В соответствии со стандартом МЭК это называется током включения трансформатора, обусловленным броском тока намагничивания и определяем не расчетом, а по каталожным данным в зависимости от напряжения и мощности силового трансформатора.

Согласно ГОСТ РФ, полный ток КЗ представляет собой сумму двух составляющих (слагающих): периодической и аperiodической составляющих i_{Π} и i_a . Стандарт МЭК направлен на определение полного тока КЗ i (а не отдельно его составляющих), который назван «несимметричный ток». При этом нет классификации режимов на симметричные и несимметричные. Аналогично определяются и параметры трехфазного КЗ, которое является режимом симметричным. Таким образом, составляющая i_a не рассчитывается, а ее учет неявно компенсируется отказом от учета затухания составляющей i_{Π} (принимается действующее значение $I_{\Pi} = I_{\Pi(0)} = \text{const}$). Согласно ГОСТ РФ периодическая составляющая –

за исключением системы бесконечной мощности – с течением времени уменьшается, что рассчитывается статистическими методами (как правило, методом типовых кривых, основанном на закономерностях затухания тока в зависимости от удаленности источника от места КЗ и позволяющем определить $\gamma = I_{\text{П}}/I_{\text{П}(0)}$).

Ударный ток $i_{\text{уд}}$ ГОСТ РФ определяет как максимально возможное мгновенное значение тока для расчетной сети. Он наступает для сетей общепромышленной частоты через половину периода от начала КЗ и определяется как экстремальное (максимальное) значение полного тока i . Стандарт МЭК определяет ударный ток i_y как максимальное значение тока для заданного вида повреждения (возможен ударный ток двухфазного КЗ $K^{(2)}$, однофазного $K^{(1)}$).

Таким образом, установлено существенное расхождение отечественных и зарубежных методик анализа аварийных режимов СЭС, что препятствует гармонизации стандартов расчета токов КЗ и требует критического анализа проектных документов на основе стандартов МЭК.

Основные расхождения в области терминологии мы отметили. А для проверки тождественности результатов расчета проведен машинный эксперимент. Нами проведен расчет токов КЗ для объекта исследования двумя способами: на основе ГОСТ РФ (непосредственным расчетом и с использованием RastrWin) и построением модели в Matlab (использует стандарт МЭК). Matlab принят как инструментальное средство ввиду широких функциональных возможностей – моделирование объектов СЭС в библиотеке Simulink.

В результате, можно сделать вывод о хорошем соответствии параметров режима в сети напряжением выше 1 кВ (для практических задач могут использоваться как ГОСТ РФ, так и стандарт МЭК) и значительном расхождении – в сети до 1 кВ. Это соответствует практике проектирования и проведения расчетов для других объектов [6]. При этом можно сослаться не только на отечественный, но и на зарубежный опыт. В [7] говорится, что при рассмотрении КЗ в сети до 1 кВ как металлическое в модель вносится существенная ошибка – результаты расчета тока получаются завышенными от 30 до 60 %.

Это объясняется тем, что ГОСТ РФ учитывает в сети до 1 кВ дополнительное активное сопротивление, учитывающее переходное сопротивление контактов и измерительных трансформаторов тока. Стандарт МЭК содержит указания о необходимости учета элементов низковольтной сети (шинопроводов, коммутационных аппаратов, дуга

в месте КЗ), но в нем отсутствуют конкретные рекомендации по введению этих элементов в расчетную схему. Все необходимые данные для расчета в соответствии с ГОСТ РФ есть в справочной литературе [1].

Если в модель *Matlab* принудительно ввести такое сопротивление, то начальное значение тока КЗ уменьшается с 26,4 до 15 кА. В целом, результат моделирования сети до 1 кВ следует оценить компромиссно. Максимальное значение тока КЗ согласно МЭК можно использовать для выбора оборудования (хотя при этом и возможен чрезмерный запас), но для проверки устройств РЗА по минимальному току его использование недопустимо (значение тока завышено). Необходима коррекция схемы введением дополнительного сопротивления или использование ГОСТ РФ.

Литература

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. М.: Энергия, 1970. 520 с.

2. Абдурахманов А.М. Анализ зарубежной нормативно-технической документации и практических рекомендаций по расчету и координации токов короткого замыкания в электрических сетях. Электротехника: сетевой научный электронный журнал. 2016. Доступно по: URL: <http://electrical-engineering.ru/issues/2016/2016-3.pdf>. Ссылка активна на 16.09.2020.

3. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1 кВ: разработан Филиалом ОАО «НТЦ электроэнергетики» ВНИИЭ, Московским энергетическим институтом (Техническим университетом) (МЭИ (ТУ)), утвержден и внесен действием Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2007 г. N 173-ст. М.: Стандартинформ, 2008. 36 с.

4. IEC 60909-1-2002. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems. Part 1. Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0.

5. Application guides for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems. Standart IEC, publication 781, 1989.

6. Жуков В.В. Короткие замыкания в электроустановках напряжением до 1 кВ. – М.: Издательство МЭИ, 2004. 192 с.

7. Segatz U. Der Einfluss der Lichtbogenspannung auf den Kurzschlussstrom // ETZ-B. 1962. Jg. 14. No 19. P. 520–527.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОТКАЗЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА, МЕТОДИКА ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ

Истопленников Максим Алексеевич, Закирова Наргиза Жажонгирова,
Павлов Павел Павлович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
istoplennikov97@mail.ru, zakirova_nargiza29.01.96@mail.ru, pavlov2510@mail.ru

В данной статье рассмотрены такие характерные отказы электрической цепи электроподвижного состава, как короткое замыкание и обрыв цепи, а также приведены методики выявления неисправностей и некоторые способы их устранения.

Ключевые слова: отказ, электроподвижной состав, замыкание, обрыв, электрическая цепь.

CHARACTERISTIC FAILURES OF THE ELECTRIC CIRCUIT OF ELECTRIC ROLLING STOCK, METHODS OF THEIR DETECTION AND ELIMINATION

Istoplennikov Maksim Alexeyevich, Zakirova Nargiza Jahongirovna, Pavlov Pavel Pavlovich

This article discusses such characteristic failures of the electric circuit of an electric moving train as short circuit and circuit breakage, as well as provides methods for detecting faults and some ways to eliminate them.

Keywords: failure, electric rolling stock, short circuit, breakage, electric circuit.

Безаварийная и безотказная работа устройств электроподвижного состава является основой для обеспечения заданного уровня пропускной способности систем городского электрического транспорта. Оценка качества работы напрямую зависит от количества произошедших отказов деталей и узлов электроподвижного состава. Отказ – это событие, которое заключается в нарушении работоспособного состояния объекта, в зависимости от последствий они классифицируются по категориям:

1 категория – отказы, которые привели к задержке на 1 час и более, либо к транспортным происшествиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации электроподвижного состава;

2 категория – отказы, которые привели к задержке продолжительностью от 3 минут до 1 часа;

3 категория – отказы, которые не имеют последствий, относящихся к 1 и 2 категориям[1].

Из неисправностей электрического оборудования наиболее распространены короткие замыкания токоведущих частей, обрывы витков катушек электрических машин и аппаратов, жил кабелей и клеммных наконечников электропроводки, нарушение коммутации электрических машин постоянного и пульсирующего тока, межвитковые замыкания в катушках машин и аппаратов.

Короткое замыкание (КЗ) – это соединение двух электрических проводников постоянного тока разной полярности или двух-трех проводников различных фаз переменного тока. В результате этого резко снижается активное сопротивление цепи и возникают большие, обычно недопустимые по значениям, токи, приводящие к выходу из строя включенных в данную цепь аппаратов и электрической проводки в кузове ЭПС. Причинами КЗ могут быть загрязнение, перетирание, увлажнение или старение изоляции, атмосферные (в результате разряда молнии) или коммутационные перенапряжения, попадание на токоведущие части металлических предметов, соединение соседних элементов аккумуляторных батарей или замыкание внутри одного элемента, падение оголенных частей провода или гибких шунтов, находящихся под напряжением, на заземленные детали, а также потеря полупроводниковыми приборами запирающих свойств.

Недопустимое возрастание тока в силовых цепях ЭПС может возникнуть при порче якорных подшипников, разрыве бандажей якорей электрических машин, заклинивании зубчатой передачи или буксовых подшипников колесных пар, резком снижении частоты вращения роторов вспомогательных электрических машин [2].

Обрывы электрической цепи могут возникать в результате сильного натяжения или крутого перегиба провода или кабеля, частых их колебаний, например при плохом закреплении, отгорания или выпайвания провода из клеммного наконечника, сильного окисления (обгорания) контактов, попадания между ними постороннего предмета.

В аккумуляторной батарее обрыв цепи может произойти при изломе перемычек из-за вибраций или окисления выводов, а также при вытекании из элементов электролита через трещины в корпусе.

Обрыв цепи приводит к менее опасным по сравнению с КЗ, но достаточно серьезным последствиям, сказывающимся на работе ЭПС. Из-за обрыва цепи токоприемники не поднимаются, не функционируют аппараты защиты электрических цепей, цепи тяговых двигателей и вспомогательных машин. Во всех этих случаях локомотив не может тронуться с места, что приводит к сбою движения.

Обрыв провода в силовых цепях можно устранить только в условиях депо. В эксплуатации локомотивные бригады могут поставить перемычку в обход оборванного участка гибким проводом сечением 2 не менее 16 мм. В цепях управления с малыми токами можно ставить перемычку из более тонкого провода с зажимами типа «крокодил» по концам. Иногда для длинных цепей удастся использовать предусмотренные монтажными схемами ЭПС резервные провода, но это требует высокой квалификации машиниста [3].

Методы выявления мест КЗ и обрывов различны. Места КЗ в депо первоначально пытаются установить по записи, сделанной машинистами в Журнале технического состояния локомотива. Место возможного КЗ внимательно осматривают, пытаясь уточнить его визуально по следам копоты, брызгам металла и характерному запаху горелой изоляции. При недостаточности этих признаков выполняют проверку мегаомметром, для чего проверяемую цепь отсоединяют от «земли» и подключают к зажиму «Линия» мегаомметра. Другой его зажим соединяют с заземленной частью кузова.

Провод от зажима «Линия» присоединяют к неизолированным точкам проверяемой цепи – ножам отключателей двигателей, выводам реле перегрузки, контактам реверсора или тормозного переключателя и т.п. Если при вращении ручки мегаомметра прибор покажет ноль, то в цепи имеется КЗ. В период этой проверки все другие работы на ЭПС должны быть прекращены.

Для уточнения места повреждения постепенно сужают зону поиска, деля проверяемую цепь на отдельные участки, отключая отдельные последовательно включенные в эту цепь аппараты или устанавливая между контактами изоляцию. В ряде случаев цепь приходится делить на участки разъединением кабелей, проводов или шин [4].

На электропоездах замыкание на землю (корпус) основных проводов управления 15 (плюсового) и 30 (минусового) можно выявить с помощью выключателя КИ «Контроль изоляции» (рис. 1). Если замыкания в цепи нет, то лампы Л1 и Л2, включенные последовательно, будут гореть вполне накала, а при наличии замыкания на землю провода 5 лампа Л1 гореть не будет, так как она оказывается аварийной и зашунтирована цепью 1–У, а лампа Л2 будет гореть с полным.

В эксплуатации имеют место случаи срабатывания аппаратов из-за поступления постороннего питания на их катушки вследствие непредусмотренного электрического соединения проводов, например, в результате перетиранья изоляции или смещения и взаимного

перемыкания наконечников. Данную неисправность в цепи низкого напряжения легко выявляют по внешним признакам. Обнаружить место такого неправильного соединения в цепях низкого напряжения значительно сложнее [5].

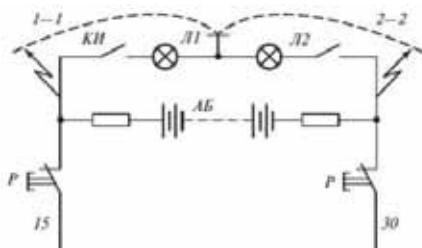


Рис. 1. Принципиальная схема контроля состояния изоляции проводов

Литература

1. Савичев Н.В. Электрические схемы электровоза ЧС2Т. М.: УМК МПС, 2013. 184 с.
2. Покровский С.В. Система управления и диагностики электровоза ЭП10. М.: Интекст, 2015. 356 с.
3. Ермишкин И.А. Электрические цепи ЭПС. М.: УМЦ, 2018. 271 с.
4. Потанин А.А., Мысков О.В. Электрические схемы электровозов, управление и обслуживание. М.: ГОУ «УМЦ», 2016. 187 с.
5. Вохмянин Э.С. Электрические схемы электровозов М.: Академ-книга, 2017. 235 с.

УДК 621.316

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО УРОВНЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Калинин Алексей Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия
kaekae171717@gmail.com

В настоящее время в России остро стоит вопрос повышения энергетической эффективности, низкий уровень которой обусловлен множеством факторов. Первым шагом для решения проблемы низкой энергетической эффективности является учет

и выявление объектов, аномально потребляющих энергетические ресурсы, в том числе электрическую энергию. Однако, анализ информации о величине электроэнергии поступившей и отпущенной из сети, полученной потребителями, потерях на разных уровнях напряжения и на участках, принадлежащих разным собственникам, затрудняется ввиду большого объема данных, их разновременности, неполноты и даже недостоверности. Таким образом, возникает необходимость в анализе и выборе методов для выявления объектов с аномальным электропотреблением.

Ключевые слова: аномальное потребление электроэнергии, энергоэффективность, техноценоз, потери электроэнергии, нормирование.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DETECTING ANOMALOUS LEVEL OF ELECTRIC CONSUMPTION

Kalinin Alexey Evgenievich

In Russia, the issue of improving energy efficiency is currently acute. Its low level is due to many factors. The first step to solve the problem of low energy efficiency is to record and identify objects that abnormally consume energy resources, including electrical energy. However, the analysis of information about the amount of electricity received and released from the network, received by consumers, losses at different voltage levels and on sites belonging to different owners is difficult due to the large volume of data, their different timing, incompleteness and unreliability. Thus, there is a need for analysis and selection of methods for identifying objects with abnormal power consumption.

Keywords: abnormal electricity consumption, energy efficiency, technocenosis, electricity losses, rationing.

Одной из причин аномального потребления электроэнергии могут служить коммерческие потери, обусловленные хищением. Исследованием коммерческих потерь и методов их определения и нормирования занимается научная школа под руководство Воронцовского В.Э. Их работы посвящены:

– исследованию структуры и причины коммерческих потерь, а также мероприятий для борьбы с ними. В своих работах авторы описывают инструментальный способ определения коммерческих потерь в ходе энергетических обследований как самый эффективный [1];

– методике расчета коммерческих потерь, обусловленных систематическими погрешностями из-за сверхнормативных сроков службы индукционных счетчиков, а также методике экспертной оценки структурных составляющих коммерческих потерь электроэнергии [2];

Также можно выделить следующие работы, выполненные:

– коллективом авторов (Кононов Ю.Г., Пезель В.М.), разработавших метод оценки диапазонов неопределенности потерь электроэнергии в условиях отсутствия наблюдаемости сетей 0,4–10 кВ, позволяющий оценить коммерческие потери в сетях 0,4 кВ и уточнить расчет технических потерь в них [3];

– коллективом авторов (Бартоломея П.И., Паздерина А.В., Тараненко А.А.), разработавших методику анализа статистической информации для энергообъекта с оценкой и определением мест сети, имеющих недостаточную степень достоверности измерений [4].

Аналитическим методом определения коммерческих потерь и аномального электропотребления является сравнительный анализ баланса полезного отпуска. Данный метод основан на ежемесячном сравнении баланса отпущенной электроэнергии в каждой точке учета. Сравняются показания прибора учета, установленного непосредственно в точке, с суммой переданных показаний потребителей, питающихся от этой же трансформаторной подстанции (ТП), так же учитываются технические потери электроэнергии. Если электроэнергия отпущена и учтена «честно», то разница между балансами может различаться максимум на 13 % только в положительную сторону. Данный метод прост в пользовании, наглядно показывает на каких ТП есть аномальное потребление, но нет возможности точно указать какой именно потребитель аномально потребляет электроэнергию.

Многие эксперты отмечают, что внедрение интеллектуальных технологий в электроэнергетику способно выявить объекты с аномальным электропотреблением и снизить нетехнические потери электроэнергии. В этом могут помочь «умные» сети (Smartgrid) и «умные» системы учета (Smart Metering) [5]. Smartgrid являются «умной» системой, так как осуществляет само мониторинг и предоставляется полные отчеты о произведенной и переданной электроэнергии по всем участкам сети. На основе анализа этой информации, потери в сетях можно уменьшить за счет распределения нагрузки и реконфигурации сети для крупных потребителей. Smart Metering являются элементами умных сетей и позволяют дистанционно снимать показания, непрерывно фиксировать электропотребление, выявлять очаги потерь, а также мгновенно ограничивать нагрузки или полностью отключать потребителей. Установка таких систем в трех регионах России (Калининградской, Тульской и Ярославской областях) в ходе эксперимента позволила снизить потери в диапазоне от 10 до 37 % [6]. Недостатками данной системы является дороговизна, необходимость модернизации большого объема электротехнического оборудования, обучение персонала. Кроме того, для эффективной работы необходимо единовременное внедрение согласующихся между собой технологий.

Другим подходом к выявлению объектов с аномальным электропотреблением является разработка и обоснование норм потребления электрической энергии. Это также позволяет организовать эффективное

управление функционированием предприятий. Некоторые современные исследования российских ученых приведены ниже:

– Петухов С.В. исследовал вопросы управления электропотребления, а также энерготехнологические характеристики оборудования предприятий горных работ с открытой разработкой угля [7];

– Хорьков С.А. систематизировал методы расчета электропотребления промышленного предприятия на основе статистического моделирования электропотребления, описал методики расчета нормативного электропотребления технологического и вспомогательного оборудования, а также потерь электроэнергии в цеховой сети электроснабжения [8];

– Гнатьюк В.И., Шейнин А.А. предлагают для оценки электропотребления использовать методы статистической обработки, аппроксимации ранговых параметрических распределений, интервального оценивания, кластерного анализа [9];

– Бабак В. Ф., Шестопалова Т.А. предлагают систему нормирования и оценки энергопотребления предприятия реализовать путем разработки большой информационной системы с помощью инструментального моделирования и технологии VPwin, описывающей существующие технологические процессы [10];

– Анчарова Т.В., Пищур А.П. рассматривают проблему нормирования электропотребления промышленных предприятий с многоменклатурным производством путем моделирования временных рядов и матричного анализа [11].

Основные достоинства и недостатки рассмотренных методов были сведены в общую таблицу 1.

Таблица 1

Сравнение существующих методов анализа

| Название метода | Достоинства метода | Недостатки методы |
|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Метод экспертной оценки потерь электроэнергии | Быстрота получения результата, простота организации, возможность решения сложно формализуемых задач. | Субъективность, зависимость результата от наличия и квалификации экспертов, сложность сбора информации для расчета коэффициента доверия и оценки потерь. |
| Сравнительный анализ баланса полезного отпуска | Прост в использовании, наглядно показывает на каких объектах есть аномальное потребление | Нет возможности точно указать какой именно потребитель аномально потребляет электроэнергию. |

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|--|
| Анализ электропотребления с помощью «умных сетей» и Smart Metering | Точность расчетов с потребителями, выявление аномального потребления электроэнергии | Значительные финансовые вложения для внедрения необходимого оборудования, которые окупятся только через длительное время. |
| Вероятностно-статистический метод | Позволяет выявить закономерности на фоне случайности, обладает высокой точностью и универсальностью | Невозможность учета изменения состава, характеристик или режима работы оборудования, необходимость большого объема накопленной информации |
| Техноценологическая идея в энергопотреблении | Подходит для написания аналитических программ по энергопотреблению, так как дает возможность максимально точно оценить динамику энергопотребления отдельных объектов | Короткий горизонт прогнозирования 1-2 года, после чего ошибка резко возрастает, для точной работы необходимо создание сложной динамической адаптивной модели, на глубину до 5 лет. |

На основе сравнительного анализа методов для выявления объектов с аномальным уровнем электропотребления предлагается использовать техноценологический подход, позволяющий максимально точно оценить динамику энергопотребления отдельных объектов при достаточном объеме накопленных данных.

Литература

1. Воротницкий В.Э., Апраткин В.Н. О направлениях совершенствования работ по расчетам и снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций // Журнал прикладных исследований, 2000. № 3. С. 16–20.

2. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинкина М.А. и др. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям. Москва: ОАО «Научно-исследовательский институт электроэнергетики» (ОАО «ВНИИЭ»), 2006. 167 с.

3. Пейзель В.М. Развитие методов расчета и анализа потерь электроэнергии в сетях распределительных сетевых компаний: специальность 05.14.02 «Электростанции и электроэнергетические системы»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук //

ГОУ ВПО «Северно-Кавказский государственный технический университет». Ставрополь, 2009. 23 с. Место защиты: ГОУ ВПО «Северно-Кавказский государственный технический университет».

4. Тараненко А.А. Повышение достоверности показаний счетчиков электрической энергии и определение коммерческих потерь в электроэнергетических системах: специальность 05.14.02 «Электростанции и электроэнергетические системы»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Уральский государственный технический университет. Екатеринбург, 2000. 23 с. Место защиты: Уральский государственный технический университет.

5. Могиленко А.В. Снижение потерь электроэнергии. Опыт разных стран // Новости электротехники, 2014. № 6 (90)

6. Smart Grid. Умные Сети. Интеллектуальные сети электроснабжения. Доступно по: URL: <https://www.tadviser.ru/>. Ссылка активна на 24.09.2020.

7. Петухов С.В. Исследование электропотребления и разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности горных работ предприятий с открытой разработкой угля: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Москва, 2019. 21 с. Место защиты: НИТУ «МИСиС».

8. Хорьков С.А. Расчеты электропотребления при энергетическом обследовании промышленного предприятия: учебно-методическое пособие. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2011. 111 с.

9. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Методика определения оптимальных норм электропотребления // Прикладная информатика, 2014. № 3 (51). С. 68–78.

10. Шестопалова В.Ф., Бабак Т.А. Нормирование электропотребления с применением VRwin технологий // Вестник КРСУ, 2003. № 3.

11. Анчарова Т.В., Пищур А.П. Проблемы и пути решения анализа и нормирования электропотребления промышленных предприятий с многономенклатурным производством // Электре, 2003. № 6. С. 22–26.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАЙОНУ САНКТ-ПЕТЕРБУРЖСКОГО УЗЛА

Кондрашова Юлия Николаевна, Маркина Ангелина Максимовна,
Новиков Иван Витальевич, Шалимов Алексей Витальевич
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия
rotjuil720@mail.ru

В связи с реконструкцией района Санкт-Петербургского узла возникла необходимость расчёта установившихся режимов и исследования переходных процессов. В данный период были присоединены подстанции (ПС) Намыв1, ПС Балтийская 13-А, ПС Петровская, ПС 238. В следствии присоединения подстанций возникла необходимость выбора и проверки, установленного ранее электрооборудования. При присоединении новых мощностей важно оценить перспективы роста нагрузки. С увеличением нагрузки также стало важно оценить режимы работ различных конфигураций исходной схемы района Санкт-Петербургского узла (РСПУ). Проведенные исследования позволят охарактеризовать возможные конфигурации схемы и найти оптимальную конфигурацию Василеостровского энергетического узла для дальнейшей эксплуатации до окончательного завершения реконструкции. Данный анализ позволит избежать возможные аварии и уменьшить время простоев электрооборудования подстанций.

Ключевые слова: установившиеся режимы, реконструкция Санкт-Петербургского узла, электрическая сеть, переходные процессы, распределение мощности.

ON THE ISSUE OF CHOOSING THE OPTIMAL CONFIGURATION OF THE ELECTRICAL NETWORK IN THE CONTEXT OF THE RECONSTRUCTION CARRIED OUT IN RELATION TO THE AREA OF THE ST. PETERSBURG HUB

Kondrashova Yulia Nikolaevna, Markina Angelina Maksimovna, Novikov Ivan Vitalevich,
Shalimov Aleksei Vitalevich

In connection with the reconstruction of the St. Petersburg junction area, it became necessary to calculate the steady-state regimes and study transient processes. During this period, substations (SS) Namyv1, SS Baltiyskaya 13-A, SS Petrovskaya, SS 238 were connected. As a result of the connection of substations, it became necessary to select and check the previously installed electrical equipment. When connecting new capacities, it is important to assess the prospects for load growth. With an increase in the load, it also became important to evaluate the operating modes of various configurations of the initial scheme of the St. Petersburg hub area (RSPU). The studies carried out will make it possible to characterize the possible configurations of the circuit and find the optimal configuration of the

Vasileostrovsky power unit for further operation until the final completion of the reconstruction. This analysis will allow avoiding possible accidents and reducing the downtime of electrical equipment of substations.

Keywords: steady-state modes, reconstruction of the St. Petersburg node, electrical network, transient processes, power distribution.

Для исследования и расчетов переходных процессов РСПУ был применен программный комплекс КАТРАН 7.0 [1], в основу которого заложен метод последовательного эквивалентирования [2, 3], который позволяет выполнить расчеты установившихся и переходных режимов и провести анализ полученных результатов.

На данный момент в узел на напряжении 110 кВ входят подстанции: Василеостровская, Свердловская 321, 104, 238, Намыв 2, Балтийская 13-А, 14, Крестовская. В качестве источника распределенной генерации выступает теплоэлектростанция. Через шины 330 кВ осуществляется транзит мощности от региональных сетей через системную ПС «Василеостровская». Распределительная сеть РСПУ образована двумя разомкнутыми кольцами с ответвлениями. В настоящий момент кольца размыкаются на подстанции Балтийская 13-А и на подстанции Намыв 1. На подстанцию 104 приходят две кабельных линии (кабели из сшитого полиэтилена) и от секции 110 кВ есть отходящая кабельная линия, идущая на Свердловскую 321 подстанцию, кабель выполнен МНСК-625А от подстанции 321 уходит КЛЭП на подстанцию 14, обеспечивая связь с энергосистемой. От теплоэлектроцентрали электроэнергия идёт на распределительную подстанцию 14. Питание этой подстанции осуществляется по 6хКЛЭП на напряжении 35 кВ и одной КЛЭП на 110 кВ. Таким образом, от ТЭЦ-7 запитаны подстанции 14, Намыв 2,238, частично Балтийская 13-А и частично Намыв 1. Схема РСПУ представлена на рисунке 1. Согласно алгоритму, приведенному в [2, 3] выполнен расчет начальных токов короткого замыкания при симметричных коротких замыканиях (СКЗ) на шинах. Значения начальных токов при СКЗ на шинах 110 кВ находятся в диапазоне 8,94–12,26 кА.

С расширением градостроения увеличиваются нагрузки, появляются новые ответвления системы электроснабжения. В результате возникают новые границы динамической устойчивости [5, 6, 7, 8], так же меняются параметры установившегося режима. Следовательно, появляется необходимость проведения анализа сравнения параметров режимов нормальных и послеаварийных в различных конфигурациях исходной схемы РСПУ.

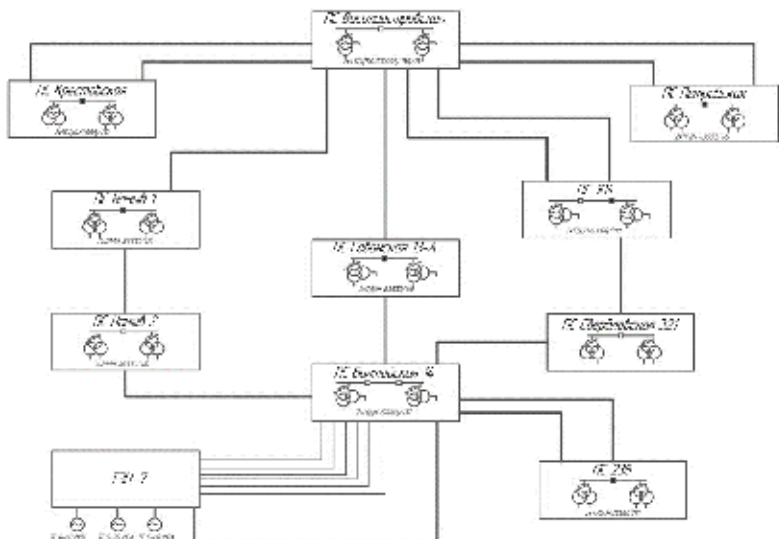


Рис. 1. Исходная схема электрических сетей РСПУ

Большое влияние на загрузку трансформаторов подстанций и автотрансформаторов РСПУ подстанции и линий электропередач, на уровни токов СКЗ и динамическую устойчивость [9, 10, 11] оказывает структура конфигурации схемы РСПУ.

В рамках работы рассмотрены следующие конфигурации ВЭУ:

Вариант 1. Отключены две КЛЭП Василеостровская-104, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104.

Вариант 2. Отключены две КЛЭП ПС Василеостровская-104, отключена КЛЭП ПС-Василеостровская-Намыв 1, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104.

Вариант 3. Отключена КЛЭП ПС Василеостровская-Балтийская 13-А, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104.

Вариант 4. Отключены две КЛЭП ПС Василеостровская-104, отключена КЛЭП ПС Василеостровская-Балтийская 13-А, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104.

Для оценки установившегося режима был произведён расчёт [5], по результатам расчёта которого по полученным значениям напряжений была построена гистограмма, отражающая зависимость установившегося напряжения от вида конфигурации и представлена на рисунке 2.

Зависимость установившегося напряжения от вида конфигурации

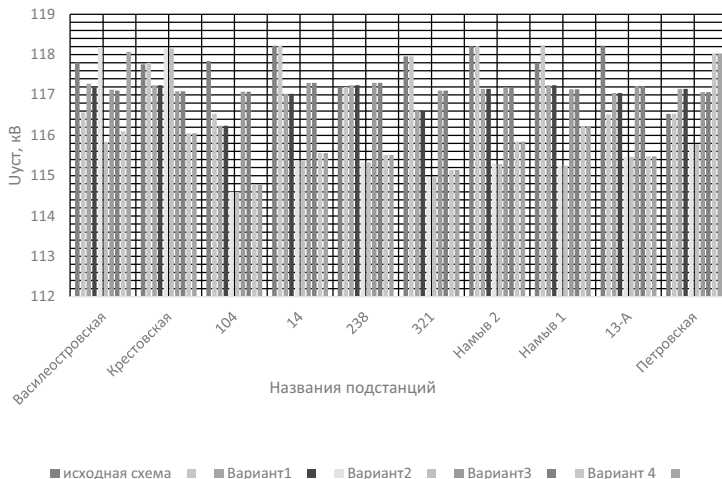


Рис. 2. Зависимость установившегося напряжения от вида конфигурации

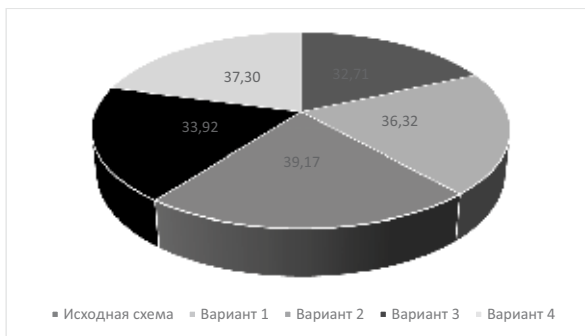


Рис. 3. Процентное соотношение распределенной генерации от энергосистемы при разных конфигурациях

По построенной диаграмме видно, что наибольшая просадка (около 10 %) напряжения возникает на ПС 104 и Свердловская 321 при 2 варианте. Это связано с отсутствием прямой связи с энергосистемой, в отличие от исходного варианта схемы. Вызванная просадка напряжения является существенным недостатком данного варианта. Наилучшими вариантами является исходный вариант. Исходя из результатов видно, что

при варианте 2 и варианте 4 автотрансформаторы ПС Василеостровской загружены неравномерно, что является недопустимым для параллельной работы автотрансформаторов. В данных вариантах для выравнивания нагрузки автотрансформаторов нужно включить секционныe выключатели на шинах 110 кВ. Для анализа установившегося режима была подсчитана доля распределенной генерации от суммарной мощности нагрузки собственного источника электроэнергии РСПУ, а именно ТЭЦ-7. Результаты анализа представлены на рисунке 3.

Распределенная генерация отражается на устойчивости системы. Для системы электроснабжения наиболее опасным диапазоном долей распределенной генерации считается от 40 % до 80 % от суммарной мощности нагрузки. По диаграмме видно, что наиболее приближенное значение к опасному диапазону доли распределенной генерации у второго варианта, оно составляет 39,2 %. Таким образом, при аварийном отключении наихудшая устойчивость будет при варианте 2. Наилучший результат является при исходной схеме, в ней доля распределенной генерации составляет 32,7 %.

Литература

1. Игуменцев, В.А., Малафеев А.В., Газизова О.В. и др. Комплекс автоматизированного режимного анализа Катран 7.0 // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2013610067.

2. Заславец Б.И., Игуменцев В.А., Малафеев А.В. и др. Представление машин переменного тока в расчетах динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2008. № 11 (111). С. 3–8.

3. Заславец Б.И., Игуменцев В.А., Николаев Н.А. и др. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями в режимах выхода на раздельную работу после короткого замыкания // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2009. № 1. С. 60–65.

4. Малафеев А.В., Карандаева О.И., Ротанова Ю.Н. и др. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» // Электротехнические системы и комплексы, 2009. № 17. С. 96–104.

5. Буланова О.В., Игуменцев В.А., Малафеев А.В. и др. Расчет динамических характеристик синхронных и асинхронных двигателей промышленных предприятий с целью анализа устойчивости систем

электроснабжения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2006. № 2 (14). С. 71–75.

6. Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Способ представления асинхронных двигателей при расчете переходных режимов короткого замыкания с целью анализа влияния тока подпитки на динамическую устойчивость // Вести высших учебных заведений Черноземья, 2008. № 3 (13). С. 43–45.

7. Николаев Н.А., Буланова О.В., Малафеев А.В. и др. Оценка регулирующего эффекта выпрямительной нагрузки для определения параметров установившихся режимов систем электроснабжения промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2011. № 4. С. 115–118.

8. Газизова О.В., Малафеев А.В., Кондрашова Ю.Н. Определение предельных параметров режимов для обеспечения успешной ресинхронизации объектов распределенной генерации в условиях предприятия черной металлургии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2016. Т. 16. № 4. С. 12–22.

9. Малафеев А.В., Буланова О.В., Кондрашова Ю.Н. Исследование влияния автоматических регуляторов промышленных генераторов на параметры переходных процессов коротких замыканий и выхода на раздельную работу // Главный энергетик, 2011. № 3. С. 26–29.

10. Буланова О.В. Управление режимами промышленных электростанций при выходе на раздельную работу // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Магнитогорск, 2007.

11. Ротанова Ю.Н. Повышение устойчивости системы электроснабжения промышленного предприятия с собственными электростанциями при коротких замыканиях // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2008.

УДК 621.314.21

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЦИКЛЕ ЕГО ЖИЗНИ

Лопухова Татьяна Викторовна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
lopuhovatb@mail.ru

Рассматривается место и цель диагностики в цикле жизни (ЦЖ) электрооборудования (ЭО). Анализируется влияние содержания этапов жизни электрообо-

рудования на его надежность, а также связь способов и методов диагностики с уровнем надежности ЭО. Предпринимается попытка обосновать необходимость системного подхода к средствам диагностики состояния ЭО на всех этапах ЦЖ ЭО в организации процессов разработки конструирования, производства, транспортировки, монтажа и эксплуатации ЭО.

Ключевые слова: цикл жизни электрооборудования, этапы диагностики технического состояния, систематизация.

DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT IN ITS LIFE CYCLE

Lopukhova Tatiana Viktorovna

The place and purpose of diagnostics in the life cycle of electrical equipment is considered. The influence of the content of the life cycle stages of electrical equipment on its reliability is analyzed, as well as the connection of methods of diagnostics with the level of reliability of electrical equipment. An attempt is made to substantiate the need for a systematic approach to diagnostic tools for electrical equipment at all stages of the life cycle of electrical equipment in organizing the processes of development, design, production, transportation, installation and operation of electrical equipment.

Keywords: defects in electrical equipment, stages of the life cycle of the electrical equipment, diagnostics of the technical state of the electrical equipment.

Появление и существование любой инженерной конструкции, в том числе и какого-то вида электрооборудования (ЭО) можно рассматривать как определенный цикл жизни этой конструкции. Такой цикл жизни (ЦЖ) состоит из следующих этапов: разработка и конструирование; производство и хранение; транспортировка и монтаж на месте установки; эксплуатация в течении определенного срока; демонтаж и утилизация. Каждый из этих этапов может рассматриваться в разных аспектах: функциональном, экономическом, экологическом (включающем в себя и безопасность для населения) и т. д.

В настоящее время большую актуальность приобретает обеспечение надёжности электрооборудования. «Прогнозирование надёжности объектов энергетических систем, а также разработка стратегий и планирование, модернизация и ремонт электрооборудования – приоритетные задачи государства» – считают современные исследователи [1]. Надёжность закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и расходуется при эксплуатации.

Рассмотрим содержание названных выше этапов ЦЖ ЭО более подробно.

Разработка нового типа ЭО включает в себя научно-исследовательскую работу и опытно-конструкторскую разработку с типовым образцом ЭО в виде результата. На данном этапе закладываются механические свойства оборудования, рассчитываются электрические

поля, выбираются материалы с необходимыми показателями. Оборудование должно создаваться приспособленным к диагностированию его технического состояния как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации. Все крупные зарубежные производители ЭО наряду с сервисным обслуживанием своей продукции предлагают и системы мониторинга своей продукции или других производителей [3].

По завершению проектно-конструкторских работ на стадиях технического и рабочего проектов проводятся испытания для проверки соответствия проектируемых устройств требованиям технического задания в процессе разработки или техническим условиям на устройство при рекомендации его промышленного производства [1]. Исследовательские испытания проводят также для подтверждения гипотезы, предположения о физических явлениях в электрооборудовании, о поведении в определённых условиях материалов, оптимальности технологических процессов.

Авторы статьи «Разработка мероприятий повышения надежности электрооборудования трансформаторных подстанций» С.В. Ершов, К.А. Игнатъев [2] справедливо отметили, что «средства мониторинга и диагностики состояния ЭО, а также применение экспертных систем в организации производственных процессов позволяют изменить стратегию организации периодически проводимых профилактических работ на более эффективную систему обслуживания, зависящую от состояния объекта».

Ошибки, допущенные в процессе разработки и дефекты, не выявленные при типовых испытаниях, могут позднее отразиться на качестве электрооборудования и на надёжности в системах электроснабжения потребителей.

1. Для производства нового типа ЭО на предприятии-изготовителе проводится технологическая подготовка производства, результатом которой является техническая документация, разработка и обоснование технологических процессов, сдача их в производство и изготовление опытного образца или установочной партии (серии). В процессе промышленного производства осуществляется контроль качества изготовления электрооборудования. Проверяемые объекты должны соответствовать требованиям конструкторской документации. Электрооборудование должно срабатывать при определённых значениях параметров.

Испытания электрооборудования на предприятии проводят для выявления соответствия электрооборудования и его функциональных сборочных единиц контрольным требованиям. Контрольным испытаниям подвергается электрооборудование, освоенное производством, а также

опытные образцы и установочные партии. Если в результате контроля пропускаются ошибки в изготовлении деталей или сборке узлов и электрооборудования в целом, то возможно снижение надёжности работы этого электрооборудования. Приспособленность ЭО к диагностированию должна быть согласована с контрольными заводскими испытаниями, при которых производятся заложенные на проектно-конструкторском этапе диагностические процедуры.

Технология производства должна содержать этапы и процедуры создания диагностических устройств: датчиков (встроенных или подключаемых); средств передачи сигналов от датчиков; устройств для анализа поступающих сигналов. На производстве необходимо наличие АСУТП на базе современных цифровых технологий.

Следует отметить условия хранения готовой продукции, они могут весьма существенно повлиять на техническое состояние ЭО. Повреждения и дефекты, возникшие при ненадлежащих условиях хранения ЭО, могут в дальнейшем проявиться при монтаже и эксплуатации.

2. Транспортировка ЭО потребителю, включающая в себя такие сложные (особенно для крупногабаритного оборудования) процедуры как погрузку, перевозку и разгрузку, может также привести к появлению дефектов в оборудовании. Выявить эти дефекты, если их невозможно обнаружить визуально, можно будет лишь после окончательного монтажа ЭО на месте установки, или они проявятся в процессе эксплуатации.

3. Содержание монтажа и наладки имеет большое значение для формирования надёжности ЭО в условиях эксплуатации и для надёжного электроснабжения потребителей. Выявление дефектов ЭО, возникших в процессе монтажа и с меньшей вероятностью во время наладки, это цель приёмо-сдаточных испытаний. Во время этих испытаний могут быть выявлены и некоторые дефекты, появившиеся в ЭО во время хранения и транспортировки.

Требованиями к процессам монтажа и наладки являются: обеспечение сохранности ЭО и диагностических устройств во время транспортировки и монтажа; проверка технического состояния ЭО после монтажа и наладки с использованием устройств диагностики самого ЭО и посредством нормативных диагностических процедур.

4. Основная задача эксплуатации электрооборудования четко обозначена в литературных источниках нормативного, учебного и исследовательского характера: организация обслуживания электрооборудования, обеспечивающая бесперебойное электроснабжение, исключая простои технологического оборудования из-за неисправности электрооборудования при надлежащем качестве электроэнергии

и минимальном её расходе и других эксплуатационных материалов [1, 2]. К эксплуатации электрооборудования допускается подготовленный персонал, не имеющий противопоказаний к работе в электроустановках по состоянию здоровья, знающий «Правила эксплуатации электроустановок потребителей» и «Межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» и допущенный к эксплуатации электроустановок с соответствующей группой по электробезопасности.

Решение задач определения фактического износа и оценки остаточного ресурса работоспособности электрооборудования необходимо для определения рациональной стратегии эксплуатации и ремонтов оборудования, для продления срока его службы и лишь в крайних случаях замены ЭО, полностью выработавшего свой фактический ресурс [4].

В табл. 1 представлены основные цели испытаний и диагностики состояния ЭО на этапах его цикла жизни. В настоящее время на каждом этапе существования ЭО цели и задачи диагностики его состояния определяются содержанием этого этапа и недостаточно связаны между собой. Поскольку результаты испытаний не могут быть абсолютно точными, и некоторые незначительные дефекты могут остаться не выявленными, на дальнейших этапах их наличие может привести к снижению надёжности ЭО. Эти дефекты могут развиваться, увеличиваться и становиться опасными. Очень важно, чтобы цели испытаний и диагностики на каждом из этапов предусматривали наличие общей непрерывной системы диагностики, предполагающей возможность регулярного мониторинга состояния ЭО.

Предполагаемая систематизация диагностики в течении всей жизни электрооборудования представлена в табл. 2. При разработке нового типа оборудование должно быть приспособленным к диагностированию его технического состояния как в процессе производства, так и на стадии приемо-сдаточных испытаний, и в процессе эксплуатации. Технология производства должна содержать возможности создания диагностических устройств, встроенных датчиков; средств передачи сигналов от датчиков; устройств для анализа поступающих сигналов, также предусматривать наличие АСУТП на базе современных цифровых технологий. После монтажа и наладки проверку технического состояния ЭО следует осуществлять с использованием устройств диагностики самого ЭО и других средств диагностики.

Система эксплуатационной диагностики современного оборудования должна создаваться на базе современных цифровых технологий, устройств дистанционной диагностики и регулярного мониторинга состояния ЭО.

Таблица 1

Цели испытаний и диагностики состояния ЭО на этапах ЦЖ

| | Этапы цикла жизни ЭО | Содержание этапов ЦЖ ЭО | Фажиры, влияющие на надежность ЭО | Цель испытаний и диагностики состояния ЭО |
|---|---------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 1 | Разработка нового типа ЭО | Проектирование, конструирование | Выбор материалов. Механические и электрические свойства | Типовые испытания. Выявление ошибок на стадии проектирования и конструирования. |
| | | Типовой образец | Соответствие материалов и технологий проекту, отсутствие дефектов | |
| 2 | Производство | Технологический процесс производства | Механические свойства Соответствие материалов и технологий проекту. Квалификация производственного персонала | Заводские испытания Выявление дефектов, возникших на этапе производства и ранее не выявленных. |
| | | Хранение | Соблюдение нормативных условий упаковки и хранения. | |
| 3 | Транспорт | Процесс транспортировки | Соблюдение правил погрузки, транспортировки, разгрузки | Приемо-сдаточные испытания. Выявление дефектов, возникающих при транспортировке и монтаже |
| 4 | Монтаж | Процесс монтажа | Соблюдение ПУЭ Соблюдение инструкций производителя Технологии монтажа | |
| 5 | Эксплуатация | Режим работы оборудования | Соблюдение нормативного режима работы. Квалификация оперативного персонала | Диагностика и мониторинг состояния оборудования. Своевременное выявление дефектов старения и, возникающих в процессе эксплуатации из-за нарушения ПТЭ, ошибок персонала. |
| | | Техническая эксплуатация | Соблюдение ПТЭ. Квалификация и технологическая дисциплина персонала | |
| | | Ремонты | Соблюдение нормативных сроков и технологических ремонтов | Послеремонтные испытания. Выявление дефектов, возникших из-за нарушения технологии ремонтов, ошибок персонала. |
| | | | Согласование нормативных сроков и объемов ремонтов с данными мониторинга состояния ЭО. Квалификация персонала. | |

Таблица 2

Непрерывная система диагностики в ЦЖ ЭО

| | Этапы ЦЖ ЭО | Требования к ЭО в соответствии с задачами диагностики в ЦЖ | Задачи диагностики состояния ЭО в ЦЖ ЭО |
|---|---------------------------|--|---|
| 1 | Разработка нового типа ЭО | Оборудование должно создаваться приспособленным к диагностированию его технического состояния как в процессе производства, так и на стадии приемо-сдаточных испытаний, и в процессе эксплуатации. | Контроль механической и электрической прочности. Проверка температурного режима и формы электрического поля. Типовые испытания при внесении изменений в конструкцию, технологию, при замене материалов. |
| 2 | Производство | Технология производства должна содержать этапы и процедуры создания диагностических устройств: датчиков (встроенных или подключаемых); средств передачи сигналов от датчиков; устройств для анализа поступающих сигналов. Наличие АСУТП на базе современных цифровых технологий. Производственный персонал с соответствующим компетенциями. | Квалификационные испытания готовых изделий для оценки готовности предприятия к производству устройств. Приемо-сдаточные испытания изготовленного ЭО для определения пригодности к использованию по назначению. Периодические контрольные испытания устройств, с периодом в (2–5) лет для подтверждения стабильности технологического процесса производства и качества аппаратов за контролируемый период. |
| 3 | Транспорт | Обеспечение сохранности ЭО | |
| 4 | Монтаж и наладка | и диагностических устройств во время транспортировки и монтажа. Проверка технического состояния ЭО после монтажа и наладки с использованием устройств диагностики самого ЭО и посредством нормативных диагностических процедур. | Входные приемо-сдаточные испытания для проверки соответствия ЭО требованиям потребителя, для установления соответствия характеристик их свойств условиям эксплуатации, требованиям технических условий и стандартов |
| 5 | Эксплуатация | Система эксплуатационной диагностики на базе современных цифровых технологий, устройств дистанционной диагностики и регулярного мониторинг состояния ЭО. Квалификация электротехнического персонала в области диагностики | Контрольные испытания, техническая диагностика ЭО с помощью специальных диагностических процедур и устройств, своевременное выявление в условиях эксплуатации медленно развивающихся дефектов в электрооборудовании, ранее не выявленных дефектов, прогнозирования перерастания дефекта в отказ. |

Литература

1. Александров Д.С., Щербаков Е.Ф. Надёжность и качество электро-снабжения предприятий: учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2010. 155 с.
2. Ершов С.В., Игнатьев К.А. Разработка мероприятий повышения надежности электрооборудования трансформаторных подстанций // Известия ТулГУ. Технические науки, 2012. Вып. 12.4.3. С. 91–98.
3. Живодерников С.В., Овсянников А.Г., Русов В.А. Зарубежный опыт мониторинга состояния маслонеполненного оборудования // Новосибирск: Электросетьсервис ЕНЭС, 2014. 153 с.
4. Лопухова Т.В., Ислентьев И.С., Джебрил М.Р. и др. Принципы разработки диагностической модели силового трансформатора // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова, Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 3. С. 137–155.

УДК 621.311

ПРОВЕДЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИЙ БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ

- ¹Роженцова Наталья Владимировна, ²Денисова Алина Ренатовна,
³Афонина Надежда Константиновна, ⁴Галяутдинова Людмила Юрьевна,
⁵Басова Татьяна Геннадьевна
- ^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
⁴МБОУ «Гимназия 7 им. Героя России Козина А.В.» г. Казань, Россия
⁵МБОУ «Гимназия 179 – центр образования» г. Казань, Россия
denisova_ar@mail.ru, natalia15969@yandex.ru, nadiiafonina1406@gmail.com,
ludmila_gimn7@mail.ru, basova.t64@mail.ru

Статья посвящена проведению энергетических обследований в организациях бюджетной сферы. Приведены оценки мероприятий в организациях, а также выявлены особенности проведения энергоаудита.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергоаудит, энергетические обследования.

CONDUCTING ENERGY SURVEYS OF BUDGETARY ORGANIZATIONS

Rozhentsova Natalya Vladimirovna, Denisova Alina Renatovna,
Afonina Nadezhda Konstantinovna, Galyautdinova Lyudmila Yurievna,
Basova Tatyana Gennadievna

The article is devoted to the conduct of energy audits in public sector organizations. The assessments of activities in organizations are given, and the features of the energy audit are revealed.

Keywords: energy efficiency, energy audit, energy audits.

В настоящее время проблема экономии электроэнергии стоит особенно остро. Энергопотребление во всем мире постоянно растет, причем быстрыми темпами. Для примера, потребление электроэнергии в нашей стране в 2018 году выросло в 1,7 раза, и ожидается ее дальнейшее увеличение в свете развития производства, народного хозяйства, строительства и т. д.

В России практически сформирована правовая база для выполнения энергетических обследований предприятий на основе следующих документов:

1) Указ Президента РФ от 7 мая 1995 г., № 472 «Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно–энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года»;

2) Распоряжение Правительства РФ от 19.04.2018 № 703-р «Об утверждении комплексного плана мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики Российской Федерации»;

3) Постановление Правительства РФ от 16 августа 2014 г. № 818 «Об установлении объема энергетических ресурсов в стоимостном выражении для целей проведения обязательных энергетических обследований»;

4) Постановление Правительства РФ от 17.06.2015 № 600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности»;

5) Постановление Правительства РФ от 15 июня 1998 г., № 588 «О дополнительных мерах по стимулированию энергосбережения в России»;

6) Федеральная целевая программа «Энергосбережение России» – основана на энергосберегающей политике государства в регионах и отраслях экономики на I 1998–2005 гг., Минтопэнерго РФ, 1998 г.;

7) Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

8) Положение о проведении энергетических обследований предприятий. Минтопэнерго, 1998 г.;

9) Методическое обеспечение проведения энергетических обследований относится к числу актуальнейших задач практической реализации политики энергосбережения. Среди оснований для выдачи лицензии на проведение энергетических обследований важнейшим является наличие методических материалов, позволяющих оценивать эффективность использования энергетических ресурсов;

10) Виды энергетических обследований, технология их проведения и основополагающие методические материалы регламентируются в настоящее время временными нормативными документами указанными выше;

11) Представляет интерес Методика проведения энергетических обследований предприятий и организаций составленная А. Афониним, Н. Ковалем, А. Сторожковым, В. Шароуховой [1] (утверждена 23.12.98 начальником Главгосэнергонадзора РФ Б.П. Варнавским) и методический материал по проведению энергетических обследований объектов системы образования, предложенный в источнике.

Энергосберегающие обследования [4] и мероприятия разрабатываются с целью снижения энергопотребления и снижения затрат на потребляемые энергоресурсы. При разработке энергосберегающих мероприятий необходимо:

1) Сформулировать техническую сущность предлагаемого мероприятия и принцип получения экономии.

2) Определить потенциал энергосбережения в физическом и денежном выражениях при разных сценариях энергосбережения.

3) Оценить общий экономический эффект; сделать прогноз потребления энергоресурсов.

4) Рекомендуемые мероприятия следует подразделить на три группы:

– организационные (малозатратные) – осуществляемые в порядке текущей деятельности предприятия;

– технологические (среднезатратные) – осуществляемые, как правило, за счет собственных средств предприятия;

– инвестиционные (высокозатратные) – требующие дополнительных инвестиций, осуществляемые, как правило, с привлечением заемных средств.

Особенности проведения энергоаудита. Основные проблемы широкомасштабного проведения энергоаудита организаций бюджетной сферы [2]:

– отсутствие четких условий, при которых проведение энергетического обследования обязательно;

– отсутствие мотивации к проведению энергоаудита у производителей и потребителей энергоресурсов;

– отсутствие единой методической базы проведения энергоаудита;

– отсутствие единой ценовой политики при определении стоимости работ;

– отсутствие рекламной популяризации результатов проведенных энергоаудитов;

- высокая стоимость измерительного оборудования для энергоаудита;
- отсутствие финансирования энергетических обследований.

Однако на практике возникают ситуации, когда проведение энергоаудита в организациях бюджетной сферы просто необходимо. Например, Министерство образования выделило и оплачивает лимит потребления энергоресурсов конкретного вуза. Если выделенного лимита недостаточно, необходимо провести всестороннее энергетическое обследование и обосновать новый объем лимита.

В группу бюджетных организаций большинства регионов входят: учреждения здравоохранения; детские дошкольные учреждения; общеобразовательные школы; учебные заведения (высшие, средние и специальные); учреждения культуры и искусства; физкультурные и спортивные учреждения; учреждения МВД и Минобороны; административные учреждения (научно-исследовательские и проектные институты, административно–производственные учреждения, общественные организации и т. п.).

Основные энергосберегающие мероприятия в предприятиях бюджетной сферы [3]:

1. Установка теплосчетчиков.
2. Установка автоматизированных систем управления отоплением.
3. Организационные мероприятия по составлению руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию всех систем теплоснабжения, корректировка договоров на теплоснабжение.
4. Установка автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов с установкой пластинчатых теплообменников.
5. Мероприятия по снижению тепловых потерь через оконные и дверные проемы.
6. Мероприятия по улучшению тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий.
7. Мероприятия по контролю показателей качества электрической энергии.
8. Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы.
9. Замена электромагнитных пускорегулирующих устройств на электронные.
10. Автоматизация управления освещением.
11. Внедрение устройств автоматического регулирования и управления вентиляционными установками.
12. Восстановление систем вентиляции и приведение их конструктивных параметров к проектным.

13. Оснащение систем водоснабжения приборами учета.
14. Проведение энергоаудитов с разработкой энергопаспортов.

Литература

1. Афонин А., Коваль Н., Сторожков А. и др. Методика проведения энергетических обследований предприятий и организаций.
2. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Солнцев Е.Б. и др. Энергоаудит организаций бюджетной сферы Нижегородского региона // Научно–технический журнал «Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения». Выпуск 1, 1999.
3. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2010. 248 с.
4. Цырук С.А., Данилов Н.В., Лисицын И.Д. Устройства быстрого действующего автоматического ввода резерва: история, современное состояние, перспективы // Промышленная энергетика, 2019. № 6. С. 2–6.
5. Тукшаитов Р.Х, Сайфутдинова В.Р., Шириев Р.Р. и др. Разработка новой методики определения КПД осветительных приборов // Проблемы энергетике, 2009. № 5. С. 104–109.
6. Федотов А.И., Ахметвалеева Л.В., Басыров Р.Ш. и др. Нормирование амплитуды высших гармоник при определении фидера с однофазным замыканием на землю // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетике, 2020. Т. 22. № 1. С. 58–68.

УДК 621.316.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ ГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Рудаков Александр Иванович, Пантюхин Марк Владимирович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
rud-38@mail.ru, p.mark.10@mail.ru

Получение и использование свободной энергии стало актуально в последнее время из-за ухудшения экологической обстановки в мире и ростом цен на топливо.

Свободной энергией называют процесс, при котором энергия на выходе получается больше чем на входе. Сверхединичность описывает явление резонанса и некоторые другие физические процессы, как, например, холодильные. На этом построена идея создания генерирующих систем свободной энергии.

Ключевые слова: свободная энергия, сверхединичность, явление резонанса, гравитация, импульсная система, электромагнитное поле.

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF IMPULSIVE GENERATING SYSTEMS FOR ACCOUNT OF ELECTROMAGNETIC RESONANCE

Rudakov Alexander Ivanovich, Pantjuxin Mark Vladimirovich

Obtaining and using free energy has become relevant recently due to the deterioration of the environmental situation in the world and the rise in fuel prices.

Free energy is a process in which the output energy is greater than the input. Over-unity describes the phenomenon of resonance and some other physical processes, such as refrigeration. This is the basis of the idea of creating free energy generating systems.

Keywords: free energy, over-unity, resonance phenomenon, gravity, impulse system, electromagnetic field.

Повышение эффективности получения и использования свободной энергии становится особенно актуальной в последнее время из-за ухудшения экологической обстановки в мире и ростом цен на газ и нефть.

Под свободной энергией понимается процесс, при котором энергия на выходе получается больше чем на входе [3]. Сверхединичность не воспринимается классической физикой, однако она описывает явление резонанса, на котором и построена идея создания генерирующих систем свободной энергии. Такие системы экологически чистые, т.к. используют явления резонанса, импульса, электромагнитного поля, эфира. Мировая практика показывает, что исследуются генераторы свободной энергии различной природы: построенные на гравитации, механических элементах, импульсных системах, химических элементах, электромагнитных полях. В данной работе рассматриваются резонансные явления и импульсные системы. Резонанс обладает большим потенциалом [1, 2]. Он способен создавать энергию на выходе, многократно превышающую первоначальную. И поэтому перспективность такой системы очевидна [4]. На сегодняшний день, еще нет какой-либо теории, которая описывала способы управления резонансом.

Энергоэффективность генерирующей системы обеспечивается последовательным включением конденсатора (последовательный колебательный контур – резонанс напряжений), который устраняет реактивную составляющую сопротивления. Оставшееся сопротивление провода обмотки в 5–10 раз меньше полного номинального сопротивления.

Рассмотрим схематичное изображение трансформатора Теслы, состоящее из двух обмоток – первичной (L_p) и вторичной (L_s) (рис. 1).

Принцип работы трансформатора Тесла представлен довольно широко [5, 6], работает трансформатор онследующим образом.

Высоковольтный трансформатор T1 через дроссель L1 заряжает конденсатор Cp. При этом, чем меньшая индуктивность дросселя, тем заряд происходит быстрее.

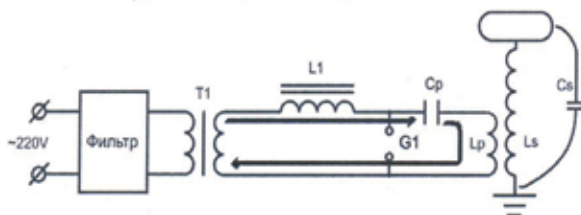


Рис. 1. Изображение трансформатора Теслы

Через некоторое время напряжение на конденсаторе увеличивается до такого показателя, что становится причиной пробоя разрядника. Дуга в разряднике является отличным проводником, а, поэтому, конденсатор Cp и катушка Lp соединяются и образуют параллельный колебательный контур. (При разрыве дуги колебательный контур исчезает). За счет энергии, которая находилась конденсаторе, в данном контуре образуются колебания (рис. 2).

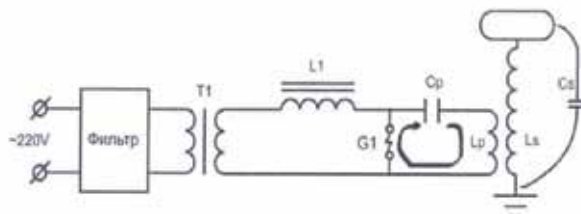


Рис. 2. Контур конденсатора

Во время таких колебаний, между конденсатором и катушкой происходит обмен энергией, часть которой теряется в виде теплового излучения в обмотке Lp, а часть проявляется свето-шумовыми эффектами в разряднике.

Показатели индуктивности Ls и емкости Cs (Cs - это суммарность емкости, которую имеет вторичная обмотка и тороида) способствуют созданию еще одного параллельного колебательного контура, который называют вторичным.

Все компоненты подбираются таким образом, чтобы резонансная частота первичного и вторичного контуров были одинаковыми [7].

Процесс происходит так, что первичный контур передает энергию во вторичный контур, и, со временем, вся энергия будет во вторичном контуре. Этот момент называют «узел энергии первичной обмотки». Показатели амплитуды колебаний тока и напряжения первичной обмотки в происходящий момент будут нулевыми. Но обмен энергии на этом не заканчивается.

Когда дуга исчезнет, остатки энергии окажутся «запертыми» во вторичном контуре и постепенно рассеются. Конденсатор C_p войдет в режим зарядки через дроссель L_1 .

Дальше все повторяется. Чем сильнее связь между контурами (чем меньше расстояние от одной катушки к другой), тем с большей скоростью обмениваются энергией. Коэффициент связи ниже 0,05 будет причиной рассеивания всей энергии в первичном контуре. Большой коэффициент связи потребует смонтировать первичную и вторичную обмотки рядом. По этой причине между ними будут образовываться стримеры [8].

Основной характеристикой любого контура является добротность Q , которая определяет ширину резонанса и характеризует, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы на 1 радиан. Добротность обратно пропорциональна скорости затухания собственных колебаний в системе. То есть, чем выше добротность колебательной системы, тем меньше потери энергии за каждый период и тем медленнее затухают колебания. Общая формула для добротности систем:

$$Q = \frac{w_0 W}{P_d} = \frac{2\pi f_0 W}{P_d},$$

где w_0 – резонансная круговая частота колебаний; f_0 – резонансная частота колебаний; W – энергия, запасённая в колебательной системе; P_d – рассеиваемая мощность. Для такого рода систем (т.е. резонансных связанных контуров), КПД передачи энергии определяется произведением коэффициента связи систем k и их добротности Q . Коэффициент связи – это, грубо говоря, коэффициент, определяющий – какую часть энергии резонанса контура-источника «видит» контур-приёмник. Например, для близко расположенных катушек индуктивности (особенно если они намотаны на одном сердечнике) коэффициент связи стремится к единице, и падает по мере разнесения катушек (т. к. по мере такого разнесения – падает ЭДС, наводимая катушками друг в друге).

$$\eta = kQ$$

Типичный график зависимости КПД от произведения коэффициента связи на добротность - приведен на рисунке 3.

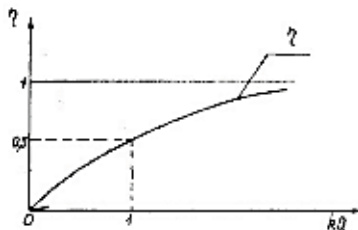


Рис. 3. Зависимости КПД от произведения коэффициента связи на добротность

Физический смысл этой зависимости очевиден: даже если за один период колебаний приёмник «забирает» лишь малый процент энергии источника, но за этот же период (в силу высокой добротности резонанса) потери энергии в суммарном резонансе малы – то КПД передачи (определяющий отношение переданной и рассеянной энергий) будет высоким. Таким образом, для высокого КПД передачи в общем случае не требуется высокий коэффициент связи контуров – большая добротность резонанса может компенсировать малость коэффициента связи.

Литература

1. Ильясов И.В., Рудаков А.И., Сираев Л.И. Применение явления резонанса в электроэнергетике для повышения энергоэффективности генерирующих систем // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: матер. IV Всерос. науч.-техн. конф. студ., маг. и асп. / Изд. ТГУ. Тольятти, 2016. С. 104–107.

2. Косых Т.Б., Кузнецов Ю.И. Связанные колебательные контуры. Методическая разработка к одноименной задаче «Практикума колебаний» // М.: Изд-во физического факультета МГУ, 2013. – 16 с.

3. Рудаков А.И., Сидорова А.Е., Ильясов И.В. Использование свободной энергии в генерирующих системах электроснабжения небольших объектов // В сб.: Наука. Технология. Производство, 2019: Моделирование и автоматизация технол. процессов и производств, энергообеспеч. пром. предпр. Матер. Всерос. научно-метод. конф, посвящ. 100-летию образ. Республики Башкортостан, 2019. С. 44–48.

4. Стребков Д.С., Рошин О.А., Юферев Л.Ю. Исследование резонансной системы передачи электрической энергии // Информационные ресурсы России, 2011. № 3.

5. Тесла Н. Статьи // Самара: Издательский дом «Агни», 2008. 584 с.

6. Иванова В.Р., Иванов И.Ю. Разработка алгоритма эффективного управления на базе ПЛК TM171PDM27SSchneiderElectric // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», 2020. С. 64–69.

7. Федотов А.И., Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика, № 12, 2016. С. 28–33

8. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики / № 11–12/, 2018. стр. 99–106.

9. Омороров Т.Т., Такырбашев Б.К., Осмонова Р.Ч. К проблеме математического моделирования трехфазной несимметричной распределительной сети // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. С. 93–102.

УДК 681.51

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сидоров Александр Евгеньевич, Абдрашитов Расиль Рамилевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
asidorini@rambler.ru, rasil-abdrashitov@mail.ru

В тезисе рассмотрена проблема анализа работы диагностических систем и мониторинга высоковольтного оборудования промышленных предприятий.

Ключевые слова: мониторинг, эффективная диагностика, электрооборудование, прогнозирование.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEMS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL EQUIPMENT

Sidorov Alexander Evgenievich, Abdrashitov Rasil Rasmilevich

The thesis deals with the problem of analyzing the operation of diagnostic monitoring systems for high-voltage equipment of industrial and municipal enterprises.

Keywords: monitoring, effective diagnostics, electrical equipment, forecasting.

Для выбора первичных параметров систем диагностирования необходимо определить особенности и место информационного обеспечения систем мониторинга.

Существуют несколько технологических уровней, определяющих системы диагностирования и мониторинга, в частности режимы работы, контроля состояний электроустановок, ремонтное и сервисное обслуживание электрооборудования, служащих для различных назначений. Основными из которых являются следующие системы:

Система оперативного диспетчерского контроля, обеспечивающая введение в работу, вывод в ремонт или отключение оборудования, а также режимы работы электроустановок. Работа этой структуры формируется управлением оперативного персонала и системы промышленной автоматизации.

Система быстрой защиты установок от аварийных режимов работы – релейная защита и автоматика (РЗА). Цель этой системы – уменьшение технического и производственного ущерба, возникающего от аварийных режимов работы электроустановок.

Система оперативной диагностики и мониторинга параметров силового оборудования. Благодаря данной системе отслеживается текущее состояние силового оборудования. Зачастую элементами этой системы являются различные реле и механизмы систем оперативного мониторинга и РЗА [1]. Данная система предназначена для предотвращения появления аварийных режимов работы. Она не способна устранить появление аварийных ситуаций, но способна предупредить о риске и причине их возникновения.

Особенностью конструирования данных систем является использование первичных параметров мониторинга силового оборудования, необходимых для осуществления диагностики, не используемых в системах оперативного контроля и РЗА.

Одновременно с этим идет процесс регистрации существующих параметров, которые уже контролируются другими системами мониторинга. Для того чтобы уменьшить стоимость систем диагностического контроля эти параметры необходимо напрямую передаваться в систему информационных каналов для использования в системах диагностики и мониторинга [2].

С целью эффективной эксплуатации силового оборудования необходимо знать техническое состояние электроустановок. Организация эффективной эксплуатации электрооборудования возможна благодаря достоверным знаниям о текущем техническом состоянии оборудования.

Наиболее эффективным способом определения технического состояния является использование результатов работы систем диагностического мониторинга. Использование систем диагностики для оперативного оценивания состояния оборудования имеет ряд важных преимуществ:

Оценивание технического состояния электроустановок производится в режиме реального времени, что безусловно важно при появлении мгновенно развивающихся дефектных состояниях.

Наличие комплексных диагностических методов и математических моделей в программных устройствах систем мониторинга позволяет оперативно оценивать техническое состояние [3].

Современные методы мониторинга позволяют при оценивании состояния электроустановок также дополнительно учитывать информацию о проведенных ранее off-line тестах, что повышает достоверность получаемой диагностической информации.

Сравнивая результаты системы диагностики и мониторинга состояния электроустановок до и после выполнения сервисных работ, можно определить действительную эффективность выполненных мероприятий.

Система диагностики и мониторинга является подходящим средством для создания эффективной системы управления для эксплуатации электроустановок по техническому состоянию.

Велика значимость прогнозирования в планировании ремонтных работ электрооборудования, в которых было обнаружено состояние близкое к дефектному. Для повышения эффективности сервисных работ планирование должно выполняться по текущему состоянию на момент диагностики, а также по расчетному состоянию на момент выполнения ремонтных работ [4].

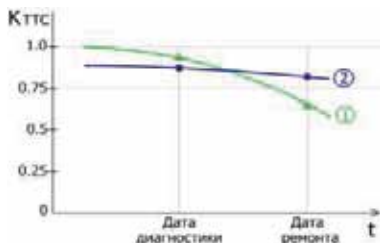


Рис. 1. Зависимость коэффициента текущего технического состояния от времени эксплуатации оборудования

На рисунке 1 видно, что на момент мониторинга состояние оборудования 2 было отличительное, чем состояние оборудование 1,

а в момент выполнения планируемых ремонтных работ ситуация изменилась – оборудование 1 больше нуждалось в ремонтных работах, чем 2.

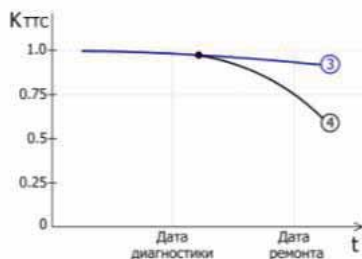


Рис. 2. Зависимость коэффициента текущего технического состояния от времени эксплуатации оборудования, имеющего дефекты

На практике же состояние электрооборудования меняется по сложной кривой, имеющей две основные составляющие:

График 3 – стационарно и медленно развивающееся с течением времени ухудшение состояния установки при безаварийном режиме работы.

График 4 – дополнительное воздействие на состояние установки вследствие появления аварийной ситуации. Данный процесс возможно описать только с помощью динамических параметров, которые учитывают как возникновение первичного, так и появление, и развитие вторичного аварийного состояния[5].

С целью эффективной оценки и прогнозирования изменений, происходящих в электроустановках необходимо применять адаптивные модели, имеющие математический характер описания, в которых коэффициенты будут автоматически учитывать текущее состояние установки в режиме реального времени.

Каждый элемент электроустановок, непосредственно участвующий в передаче и распределении электрической энергии, служит для мониторинга и учета или контроля работы других установок, либо с целью реализации других необходимых функций. В любом случае она является неотъемлемой частью технического и технологического комплекса данной системы [6].

Для обеспечения надежной работы электроустановок системами диагностики и мониторинга должны быть охвачены все основные и технологически наиболее важные установки и оборудование. Для обеспечения необходимого уровня экономической эффективности

стоимость систем мониторинга должна сопоставляться со стоимостью самого оборудования.

На главном оборудовании подстанции могут быть установлены датчики и приборы систем мониторинга, информация от которых обрабатывается при помощи основного АРМ с единым программным обеспечением.

Все параметры и результаты вычислений локальных и комплексных систем диагностики могут отображаться операторам ЛВС на уровне АРМ, а по каналам связи передаваться в системы АСУ-ТП вышестоящего технологического уровня [7].

Системы мониторинга и диагностики позволяют осуществить уникальную возможность в реализации сравнительного анализа технологического состояния отдельно-взятого элемента оборудования и выявлять звено, которое может поспособствовать преждевременного выхода установки из строя

При планировании ремонтных работ с использованием информации от комплексной системы мониторинга появляется возможность учета технологической значимости каждого высоковольтного элемента подстанции, которая определяется тем, в цепь какого транзита этот элемент включен. Используемое программное обеспечение комплексного мониторинга оборудования должно включать в себя функции технологических связей всех высоковольтных элементов.

Наиболее важная часть любой системы диагностического мониторинга высоковольтного оборудования – экспертная система, позволяющая решать несколько задач, главными из которых являются следующие: определение текущего технического состояния, диагностика признаков дефектного состояния оборудования, планирование сроков и объемов ремонтных работ, оценка состояния качества и эффективности выполненного ремонта [8].

Существуют два способа создания экспертно-диагностических систем для оборудования: специализированная экспертная система для конкретного типа оборудования, созданная на основании знаний реального практического эксперта или группы экспертов, универсальная самонастраивающаяся экспертная система, созданная на основе микропроцессорных аппаратов. Данная система подразумевает использование универсального программного обеспечения. Необходимость в использовании знаний практических экспертов возникает только на этапе адаптации или самообучения экспертной системы применительно к конкретному типу оборудования.

Так какой же вариант наиболее эффективен?

Самонастраивающаяся система ориентируется на выявление и мониторинг уже выявленных ранее дефектов. Она не может оценивать возникновение ранее не диагностированных состояний, так как не учитывает особенности физических процессов в контролируемом оборудовании [9].

Фиксированная экспертная система базируется на хорошем знании экспертом процессов, происходящих в оборудовании, и в большей степени может учитывать возникновение повторяющихся и развивающихся дефектных состояний. Такая система имеет большие возможности в модернизации диагностических алгоритмов.

Литература

1. Акопян Г.И., Смекалов В.В. Основные принципы системы технической диагностики маслонаполненного электрооборудования высокого напряжения // Электрические станции, 1991. № 3. С. 67–71.

2. Афанасьев Н.А., Юсинов М.А. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОР ЭО). М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.

3. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990.

4. ГукЮ.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. 224 с.

5. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново, 2012. 176 с.

6. Масленников Д.С. О тепловизионном контроле электротехнического оборудования // Электрические станции, 1985. С. 73–75.

7. Денисова А.Р., Фархутдинов А.Р. Внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии и повышение наблюдаемости в высоковольтных сетях ПАО «ТАТНЕФТЬ» // сборник: Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019). Сборник трудов. Ответственный за выпуск В.В. Вахнина, 2019. С. 53–58.

8. Федотов А.И., Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения //патент на полезную модель RUS 72543 07.12.2007.

9. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики / № 11-12/2018. С. 99–106.

10. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Цветкович А.М. Особенности применения теории чувствительности для анализа влияния параметрических возмущений на динамические свойства электромеханических преобразователей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 6. С. 101–110.

УДК 621.31

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ «НЕЛИНЕЙНЫХ» НАГРУЗОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТИ

Тукшаитов Рафаил Хасьянович, Семенова Ольга Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
trh_08@mail.ru, ollivka@bk.ru

Описан способ снижения влияния высших гармоник разных нагрузок на синусоидальность напряжения электросети. Показано, что подключение нелинейных нагрузок необходимо сочетать с параллельным подключением и одновременной эксплуатацией линейных нагрузок. При превышении мощности линейной нагрузки нелинейной в 5-8 раз, коэффициент мощности достигает единицы. Полученный результат следует учитывать при проектировании расположения электрооборудования и выборе времени его эксплуатации в производственных помещениях и жилых помещениях.

Ключевые слова: нелинейная нагрузка, линейная нагрузка, качество электричества, синусоидальность напряжения, коэффициент мощности, мощность искажения.

ON ONE METHOD OF CONNECTING «NON-LINEAR» LOADS TO REDUCE THE LEVEL OF THEIR INFLUENCE ON THE QUALITY OF VOLTAGE OF THE POWER SUPPLY

Tukshaitov Rafail Khasyanovich, Semenova Olga Dmitrievna

A method for reducing the influence of higher harmonics of different loads on the sinusoidality of the mains voltage is described. It is shown that the connection of non-linear loads must be combined with parallel connection and simultaneous operation of linear loads. When the power of a linear non-linear load is exceeded 5-8 times, the power factor reaches unity. The result obtained should be taken into account when designing the location of electrical equipment and choosing the time of its operation in industrial premises and residential premises.

Keywords: non-linear load, linear load, quality of electricity, sinusoidal voltage, power factor, distortion power.

Энергопотребление предприятий и организаций постоянно возрастает. При этом все больше внедряются нагрузки с импульсным характером входного тока, именуемые в литературе как нелинейные нагрузки. Во входной цепи многих устройств содержатся выпрямительные диодные мосты, тиристоры и поэтому нередко нелинейность нагрузки у многих ассоциируется с этими элементами. В действительности основным источником формирования высших гармоник во входной цепи нагрузок является не нелинейность используемых элементов, а импульсный характер входного тока, длительность которого вследствие наличия сглаживающего конденсатора в преобразователе AC/DC составляет 0,01–0,1 полупериода промышленной частоты [1]. Поэтому для понимания механизма формирования высших гармоник тока в публикациях начинают вести речь об импульсном характере входного тока [2].

Наибольшее проявление влияния высших гармоник наблюдается в нефтедобывающей и металлургической отраслях, в системах тягового электротранспорта, поскольку там находят применение мощные преобразователи частоты для обеспечения технологических процессов и питания синхронных электродвигателей [3–5]. Между тем, искажения синусоидальности напряжения сети может вести к самым разным негативным процессам [6, 7].

С целью снижения искажения напряжения электросети применяют разные способы активного и пассивного подавления высших гармоник (ВГ) в зависимости от решаемых задач, мощности установок и уровня искажения напряжения электросети.

Целью и задачей работы является изыскание одного из способов подавления высших гармоник непосредственно в месте их эмиссии и экспериментальной его апробации.

В ходе выполнения работы к нелинейным нагрузкам разной мощности (светодиодные светильники, светодиодные и люминесцентные лампы, компьютеры, телевизоры) параллельно подсоединяли линейные нагрузки (лампы накаливания, паяльники разной мощности, масляный обогреватель, электроутюг, пылесос и т.п.) для получения изучения характера зависимости коэффициента мощности (λ) от отношения мощности линейной нагрузки ($P_{\text{лин}}$) к мощности нелинейной нагрузки ($P_{\text{нел}}$). Коэффициент λ определяли по показанию измерителя качества электричества TS-856. Для активно реактивно-нелинейной нагрузки коэффициент мощности описывается общеизвестной формулой:

$$\lambda = \frac{P_{\text{нел.}}}{\sqrt{P_{\text{нел.}}^2 + Q^2 + T^2}}, \quad (1)$$

где Q – реактивная мощность, T – мощность искажения.

На основе (1) можно получить значение мощности искажения в квадрате:

$$T^2 = \frac{P_{\text{нел.}}^2 - \lambda^2 \cdot P_{\text{нел.}}^2}{\lambda^2} \quad (2)$$

По мере параллельного подключения к нелинейной нагрузке линейной происходит повышение значения коэффициента мощности. При $P_{\text{лин.}} \gg P_{\text{нел.}}$ значение λ становится равным 1. При $\lambda = 1$ выражение (1) можно уже представить в виде следующего равенства:

$$(P_{\text{нел.}} + P_{\text{лин.}}) = \sqrt{(P_{\text{нел.}} + P_{\text{лин.}})^2 + T^2}. \quad (3)$$

После преобразования (3), получим, что

$$P_{\text{лин.}} = \frac{T^2}{2 \cdot P_{\text{нел.}}}. \quad (4)$$

Для удобства анализа, поделив правую и левую стороны равенства (3) на $P_{\text{нел.}}$, и подставив в него значение (2), получим выражение для определения отношения мощностей:

$$\frac{P_{\text{лин.}}}{P_{\text{нел.}}} = \frac{0,5 \cdot (1 - \lambda^2)}{\lambda^2}. \quad (5)$$

Из этого выражения видно, что отношение $P_{\text{лин.}}/P_{\text{нел.}}$ зависит только от коэффициента мощности. На основе полученной формулы и экспериментальным путем найдены значения отношения $P_{\text{лин.}}/P_{\text{нел.}}$ для разных значений λ .

Из данной таблицы следует, что для устранения влияния нелинейных нагрузок на напряжение электросети необходимо в местах эмиссии высших гармоник одновременно эксплуатировать оборудование, представляющую собой линейную или активно-реактивную нагрузку.

Расчетные данные также отражают описанное явление, но со значительно меньшей точностью, особенно при $\lambda > 0,5$. Это связано с тем, что по мере уменьшения значения λ спектральный состав входного тока нелинейной нагрузки становится все шире. По этой причине все сложнее становится компенсировать влияние более высоких частот спектра. Между тем, следует отметить, что большинство нелинейных нагрузок имеют значения λ более 0,5–0,6.

Таблица 1

Значения отношения $P_{\text{лин.}}/P_{\text{нел.}}$ для разных значений λ нелинейной нагрузки

| Результат | λ | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
|-----------|-----------------------------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Расчетный | $P_{\text{лин.}}/P_{\text{нел.}}$ | 2 | 0,1 | 0,6 | 0,5 | 0,89 | 0,51 | 0,30 | 0,12 | 0,06 |
| Эксперим. | $P_{\text{лин.}}/P_{\text{нел.}}$ | 5 | 7 | 2 | - | - | - | 0,5 | 0,5 | 0,30 |

Предложенный способ автоматически реализуется в высотных домах, поскольку мощность используемых в них линейных нагрузок (электропечи) полностью перекрывают мощности нелинейных нагрузок (компьютеры, телевизоры). Как в быту, так и на производстве нередко нелинейные нагрузки функционируют одновременно при параллельном их подключение к линейным нагрузкам значительно большей мощности. Именно по этой причине, несмотря на высокие значения КГИ нелинейных нагрузок, КГИ в точке подсоединения всегда заметно меньше.

Таким образом, в результате теоретической и экспериментальной проработки предложен один из простых способов устранения влияния высших гармоник нелинейных нагрузок на напряжение электросети.

Литература

1. Тукшаитов Р.Х., Сагдиев Р.Л., Роженцова Н.В. Определение характера изменения длительности входного тока выпрямителя методами моделирования и ее влияния на $\cos\varphi$ коэффициента мощности // Практическая силовая электроника, 2020. № 1 (77). С. 45–48.
2. Шаров Ю.В., Тульский В.Н., Инояттов В.Д. Разработка методики оценки состояния системы электроснабжения по изменению показателей качества электроэнергии // Международная научно-практическая конференция Управление качеством электричества. Сб. тр. М.: МЭИ, 2018. С. 106–112.

3. Зырянов В.М., Митрофанов Н.А. Работа конденсаторных установок в условиях гармонических искажений кривых тока и напряжения // Международная научно-практическая конференция Управление качеством электричества. Сб. тр. М.: МЭИ, 2018. С. 130–135.

4. Зырянов В.М., Митрофанов Н.А., Соколовский Ю.Б. Исследование гармонических составляющих напряжения преобразователя частоты // Вестник ИГЭУ. Вып. 1, 2015. С. 1–6.

5. Тукшаитов Р.Х., Корнилов В.Ю., Салимуллин М.З. и др. О величине погрешности измерения коэффициента мощности светодиодных ламп в течение суток в зависимости от коэффициента искажения напряжения электросети // В сборнике: Фундаментальные и прикладные проблемы физики. Материалы X Международной научно-технической конференции В.Е. Свешников (отв. ред.), 2017. С. 18–22.

6. Коверникова Л.И., Нго Ван Кыонг Влияние несинусоидального режима на силовые трансформаторы // Международная научно-практическая конференция Управление качеством электричества. Сб. тр. – М.: МЭИ, 2018. С. 113–118.

7. Хруслов Л.Л., Ростовиков М.В., Шишов В.А. и др. Высшие гармоники в сетях низкого напряжения с элементами силовой электроники. Опыт непрерывного мониторинга // Международная научно-практическая конференция Управление качеством электричества. Сб. тр. М.: МЭИ, 2018. С. 181–186.

УДК 620.92

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СФЕРЕ НЕЖИЛОГО ФОНДА

Швецов Артем Дмитриевич, Севостьянов Сергей Петрович
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти
a.shvetsov.d@gmail.com,sevastyanov.2010@mail.ru

В статье описываются помещения, относящиеся нежилому фонду. Определена зона эксплуатационной ответственности по данным объектам, а также требования к ним. Описаны основные статьи энергетических расходов и рассмотрены основные пути и мероприятия позволяющие повысить энергоэффективность данных объектов и сберечь таким образом исходные ресурсы

Ключевые слова: нежилой фонд, энергосбережение, энергоэффективность, снижение энергопотребления, экономия ресурсов.

THE ENERGY EFFICIENCY AT THE SPHERE OF NON-HOUSING STOCK

Shvetsov Artem Dmitrievich, Sevostyanov Sergey Petrovich

The article describes the classification of non-housing stock buildings. The authors gave characteristics for non-housing stock sphere of operational responsibility, as well as the

requirements for these buildings. It is shown the main items of energy costs with it description and considered the main ways and measures for energy efficiency improving that give the possibility for energy resources saving in the sphere of non-housing stock.

Keywords: non-housing stock, energy saving, energy efficiency, reduction of energy consumption, energy resource saving.

К нежилому фонду Российской Федерации относится перечень всех нежилых помещений, расположенных на её территории. Основным отличием от жилого фонда является невозможность постоянной или временной регистрации здесь людей для проживания. В таких помещениях разрешена любая деятельность, не запрещенная законодательством Российской Федерации. В соответствии с действующим законодательством, нежилые помещения должны соответствовать определенным критериям. «Данные объекты должны быть зарегистрированы как объекты недвижимости, имеет отдельный вход, независимый от объектов жилого фонда того же здания, не должны использоваться для временного или постоянного проживания граждан, а также обязаны отвечать требованиям пожарной безопасности, а также строительным и санитарным нормам» – [1]. Зачастую, в качестве нежилых помещений используются первые этажи многоэтажных зданий, также отдельно строящееся здания и пристроенные помещения. Эти объекты используются, как правило, для коммерческой или иной хозяйственной деятельности.

«В настоящее время, перед министерством строительства РФ стоит задача выработать и реализовать программу государственной политики и обеспечить нормативно-правовое регулирование в сфере обеспечения энергетической эффективности зданий, строений, а также сооружений, само собой к данному перечню относятся и объекты нежилого фонда» – [2]. Данный вопрос требует комплексного подхода и внедрения энергоэффективных технологий начиная со стадии проектирования, строительства, эксплуатации и заканчивая капитальным ремонтом зданий, строений и сооружений. В настоящее время в России площадь общего фонда зданий составляют 5,5 млрд м² из которых к нежилым помещениям относятся 1,4 млрд м², что свидетельствует о высоком значении экономии в данной области. Приоритетным направлением работы вышеупомянутого министерства в настоящее время является установление нормативных требований по энергосбережению зданий строений и сооружений. Пока попытки внедрения существуют лишь на стадии пилотных проектов. В рамках таких проектов предполагается, что фасады многоквартирных зданий и сооружений будут промаркированы указателями классов энергетической эффективности.

Согласно проводимым исследованиям по определению потенциала сбережения в сфере нежилого фонда с целью выяснения максимально возможного энергосбережения, сделано следующее заключение: «Расчеты прогноза энергосбережений (и связанных с этим капиталовложений) для существующего жилого и нежилого фонда зданий определяют общий объем энергосбережений примерно в 23 ТВт ч/год. Кроме того, около 5 ТВт ч/год можно сберечь в части фонда зданий, подсоединенных к системам районного теплоснабжения. Причем эти сбережения могут быть получены при применении уже апробированных энергосберегающих методов» – [3].

Повышением энергоэффективности объектов жилого и нежилого фонда в России заинтересовались примерно на десятилетие позднее, чем в развитых странах мира. Это сказалось на создании приведённой выше нормативной базы. Проблема заключается в том, что она формировалась в довольно короткий срок и по настоящий момент имеет множество недоработок. Последнее приводит к невозможности в должной мере оптимизировать энергопотребление и эффективно распределить ресурсы. Если рассматривать частный случай энергосбережения нежилого фонда логично будет установить, что заинтересованным лицом в проведении мероприятий по повышению энергетической эффективности с целью сбережения энергии являются собственники и арендаторы (вторые, соответственно, в меньшей мере), которые используют эти объекты. В данном случае можно смело говорить, что энергосбережение влияет на конечную прибыль от осуществляемой в нежилых помещениях деятельности. Говоря об энергосбережении в различных сферах жизни людей, нельзя не отметить причины, по которым, в настоящее время, данная тематика выдвигается на передний план. Рассматривая городскую среду, стоит сказать о быстром росте городского населения, влекущий за собой рост потребления, высоких требованиях к качеству жизни в условиях дефицита природных ресурсов и традиционных видов топлива, а также ужесточение требований к охране окружающей среды. В связи с этим в настоящее время и в перспективе энергосбережения является основным фактором на стадии принятия решений на каждой стадии градостроительства и организации городской жизни. Основным принципом энергосбережения является оптимизация использования первичных ресурсов, что предполагает собой снижение потребления, а также использование более энергоэффективного оборудования и дополнительных компонентов. Кроме того, наблюдается перспектива использования альтернативных источников энергии как на нормативном, так и на практическом уровнях.

Грамотное энергосбережения в обязательном случае представляет собой комплексный подход к решению проблем и рассмотрение всех основных энергозатратных пунктов, их оптимизация или исключение. Если проанализировать расходы энергии на процесс строительства зданий и сооружений, то максимальное значение затрачиваемой энергии – порядка 90 % это отопление и горячее водоснабжение, тогда как всего лишь 10 % тратится на производство строительных материалов и конструкций. Эти показатели превышают общеевропейские в два раза.

Структура расхода тепловой энергии в здании и потенциал энергосбережения можно условно представить следующими параметрами: наружные стены – существующий уровень затрат 30 % (оцениваемый потенциал энергосбережения 50 %); окна – существующий уровень затрат 35 % (оцениваемый потенциал энергосбережения 50 %); вентиляция – существующий уровень затрат 15 % (оцениваемый потенциал энергосбережения 50 %); горячая вода – существующий уровень затрат 10 % (оцениваемый потенциал энергосбережения 30 %); крыша, пол – существующий уровень затрат 8 % (оцениваемый потенциал энергосбережения 50 %); трубопровод, запорная арматура – существующий уровень затрат 2 % (оцениваемый потенциал энергосбережения 5 %).

Если увеличить термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий и сооружений, относящихся к нежилому фонду, в 2–2,5 раза, то можно добиться порядка 14 процентов экономии тепловой энергии затрачиваемой на отопление здания. Однако, такие финансовые вложения не оправданны с экономической точки зрения, так как будут увеличены затраты на вентилирования помещений, горячее водоснабжение, увеличатся тепловые потери через остекление, могут быть нарушены, с высокой долей вероятности, санитарно-гигиенические нормы по циркуляции воздуха. Также, в обязательном порядке, при внедрении различных технологий и методов по энергосбережению необходимо учитывать геометрические размеры помещений, этажность, площадь остекления, теплофизические характеристики и размеры строительных и инженерных конструкций.

Исходя из вышеперечисленного, сформируем основной список организационных мероприятий, позволяющий повысить энергоэффективность как жилого, так и нежилого фондов: 1. Установка целевых показателей по повышению эффективности использования ресурсов и организация сбора и анализа информации об энергопотреблении; 2. Присвоение класса энергоэффективности многоквартирным домам, что позволит выявить те объекты, которые нуждаются в модернизации

в первую очередь. Здесь же необходимо сопоставить показатели энергоэффективности с уже имеющимся в более развитых странах;

3. Внедрение интеллектуальных приборов учёта, позволяющих дистанционно контролировать показания и выявлять наименее энергоэффективные объекты, а также быстро реагировать на внештатные ситуации;
4. Распространение информации об изменениях в законодательстве об энергосбережении и повышении энергоэффективности, которые предъявляются к собственникам как жилых, так и нежилых помещений в многоквартирных домах, а также информирование о возможных способах экономить электрическую энергию, путём использования более эффективного оборудования и устройств;
5. Разработка системы технико-экономического обоснования внедрения тех или иных энергосберегающих мероприятий;
6. Проведение энергетических обследований зданий и анализ энергопотребления;
7. Привлечение частных инвестиций, а также энергосервисных контрактов.

Приведём также перечень мероприятий с технологической точки зрения:

1. Строительство МКД по установленным нормам об энергосбережении и повышении экономической эффективности;
2. Внедрение мер по повышению энергетической эффективности в рамках капитального ремонта;
3. Уменьшение теплопотерь за счет утепления стен и внедрение системы регулирования потребления ресурсов;
4. Установка на фасадах зданий метки о классе энергетической эффективности;
5. Повышение энергетической эффективности освещения за счет использования более эффективных осветительных приборов и установки датчиков, позволяющих сократить время эксплуатации осветительных приборов;
6. Повышение эффективности использования и сокращения потерь в водоснабжении;
7. Внедрение средств автоматизации в системе регулирования тепловой энергии;
8. Возможность регулирования мощности системы теплоснабжения;
9. Оптимизация сетей электроснабжения с целью сокращения потерь и оптимизации сети.

Вышеописанные методы и мероприятия позволят значительно сократить расходы электрической энергии, уменьшить затраты на ТО и ремонт электроприемников, улучшить качество и повысить надёжность электро- и теплоснабжения, увеличить срок эксплуатации оборудования, уменьшить затраты на капитальное строительство ТП, уменьшить установленную мощность, увеличить КПД для автономных источников энергии. Напомним, что осуществления данных мероприятий невозможно без формирования соответствующей нормативной базы, во время формирования которой все аспекты должны быть максимально учтены.

Литература

1. Федеральный закон от 3 июля 2016 г. N 361-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями). Доступно по: URL: <https://base.garant.ru/71436032/>. Ссылка активна на 20.11.2020.

2. Рациональное использование энергии в зданиях и сооружениях. Доступно по: URL: https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F3568%2Fmod_resource%2Fcontent%2F0%2FLекции%209.%20Рациональное%20использование%20%20энергии%20в%20зданиях%20и%20сооружениях.pdf. Ссылка активна на 22.11.2020.

3. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности для объектов жилого и нежилого фондов. Доступно по: URL: <https://ellabst.ru/articles/article/energoberezenie-i-povyshenie-energeticeskoj-effektivnosti-dla-obektov-zilogo-i-nezilogo-fondov>. Ссылка активна на 23.11.2020.

Секция 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 620.19

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Баширов Мусса Гумерович, ²Баширова Эльмира Муссаевна, ³Юсупова Ильвина
¹Гамировна, ⁴Мавлекаев Евгений Юрьевич, ⁵Станков Артём Витальевич
¹Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет» в г. Салавате
²ФГБОУ ВО Стерлитамакский филиал ГАНУ «Институт стратегических
исследований» АН РБ
eapp@yandex.ru, bashirova-elmira@yandex.ru, ilvina011@mail.ru, giltanasheal@mail.ru,
artemstankov@gmail.com

В статье представлен метод автоматизации испытательных машин, который необходим для решения многих задач, например, для визуализации процессов, происходящих внутри образца, представления их в виде графиков. Приведены лабораторная экспериментальная модель и интерфейс программного обеспечения. Сформулированы выводы по работе и изложены перспективы применения и дальнейшего развития.

Ключевые слова: автоматизация, испытательные машины, микроконтроллер, электромагнитно-акустический преобразователь, напряженно-деформированное состояние, электрооборудование.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED INSTALLATION FOR RESEARCHING CHANGES IN THE EXPTITIONAL PROPERTIES OF THE METAL OF ENERGY EQUIPMENT

Bashirov Mussa Gumerovich, Bashirova Elmira Mussaevna, Yusupova Ilvina Gamirovna,
Mavlekaev Evgeny Yurievich, Stankov Artjom Vitalievich

The article presents a method for automating testing machines, which is necessary for many tasks, for example, for visualizing the processes that occur inside the sample, presenting them in the form of graphs. A laboratory experimental model and software interface are presented. Based on the data presented, conclusions are drawn, as well as proposals for further application.

Keywords: automation, testing machines, microcontroller, electromagnetic-acoustic converter, stress-deformed state, electrical equipment.

Анализ аварийности на электростанциях РФ по причине неисправности и отказов электроэнергетического оборудования показал, что основным

энергетическим оборудованием, наиболее подверженным механическим повреждениям, является турбогенератор. Возникающие в металлических конструктивных элементах генератора дефекты приводят к выходу генератора из строя и недовыработке электрической энергии порядка 2278 ГВт в сутки, что составляет 48,4 % от общей недовыработки [1].

Ранжировка методом экспертных оценок вывела на первые места по рискам такие дефекты, как трещины в валу ротора и в деталях бандажных узлов ротора. Обзор нормативной документации позволяет сделать выводы о том, что оценка текущего технического состояния турбогенератора не предполагает никакой шкалы, допуская лишь подтверждение допустимости дальнейшей эксплуатации оборудования с двумя вариантами – без ограничений и с определенными ограничениями. Действующая нормативно-техническая документация не учитывает все возможные особенности разнотипного оборудования и направлена на выявление развитых дефектов, тогда как существенный интерес представляет ранняя диагностика металла.

Как известно, турбогенератор имеет совершенную систему защиты по электрическим параметрам. Повреждения обмоток статора, ротора, бандажных колец, активной стали, отклонения в работоспособного аппарата и систем охлаждения обусловлены тепломеханическими процессами. Предупреждение отказов из-за дефектов, связанных с воздействием пиковых и аномальных режимов, циклических нагрузок, со старением (изменением свойств) материалов при длительной эксплуатации, требует совершенствования систем контроля.

Основным недостатком применяемых в настоящее время методов неразрушающего контроля для оценки состояния металла энергетического оборудования является ориентированность на поиск развитых дефектов, невозможность осуществления ранней диагностики. Тогда как для своевременного выявления участков металлических конструкций, наиболее предрасположенных к появлению повреждений, необходимо знать их фактическое напряженно-деформированное состояние [2], [3].

В расчетах на прочностных данными являются величины технологических напряжений. В процессе изготовления, монтажа и других технологических операций описание физических процессов в металле в виде определения напряжений расчетными методами вызывают значительные трудности. В связи с этим в качестве основных средств изучения технологических напряжений и деформаций в реальном оборудовании выступают экспериментальные методы, требующие своего совершенствования [4].

В последние годы уделяется значительное внимание разработке и применению неразрушающих методов оценки технического состояния изделий, основанных на электромагнитно-акустическом (ЭМА) эффекте, которые позволяют генерировать в объекте контроля акустические волны и считывать информацию о его техническом состоянии. При этом используются лишь некоторые параметры акустических волн, например приращение времени их распространения, значения амплитуды и фазы, отношение времени распространения поперечных и продольных волн. Информативный потенциал ЭМА эффекта реализуется отнюдь не в полной мере, кроме того, ЭМА эффект применяют в основном в толщинометрии и для выявления дефектов типа несплошностей [5].

Проведенные исследования показывают эффективность применение электромагнитно-акустического эффекта и математической модели динамики напряженно-деформированного состояния металла энергетического оборудования в виде передаточной функции для повышения достоверности и точности оценки остаточного ресурса с учетом деградации структуры металла в процессе эксплуатации. При проведении экспериментальных исследований использовали стали марок СтЗсп, сталь 10, 09Г2С. Испытания проводились с соблюдением условий нормативно-технических документов (ГОСТ 25.502-79 и ГОСТ 1497-84 для плоских образцов). С помощью ЭМА прибора EM2210 (разработчик ООО НПО «Октанта», программное обеспечение ScanView) в заранее отмеченных точках на поверхности образцов производили измерения параметров ЭМА сигнала. Для испытания плоских образцов на малоцикловую усталость (ГОСТ 25.502-79) использовали установку, описанную в патенте № 2262682 РФ [6], [7].

Целью работы является разработка автоматизированной лабораторной установки для испытания образцов металла при квазистатических и циклических нагрузках.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать язык программирования, разработать модель установки, создать интерфейс программного обеспечения;
- теоретически оптимизировать полученную модель и выбрать необходимые компоненты.

Испытательные машины в основном являются универсальными, могут работать на растяжение и сжатие, позволяют определять характеристики металлов – упругость, пластичность, деформацию и другое. Для автоматизации испытаний использованы цифровые датчики

механических усилий и перемещений. Датчик перемещений состоит из инкрементного преобразователя линейных перемещений измерительного модуля. Структурная схема автоматизированной установки для испытаний образцов металла при квазистатических нагрузках приведена на рисунке 1.

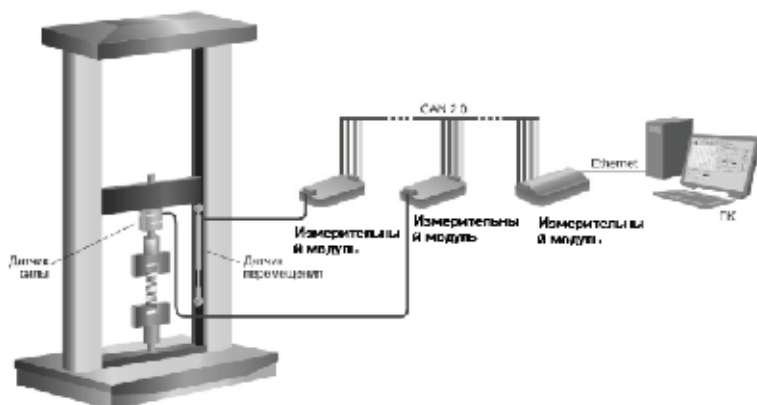


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной испытательной установки

Измерительная схема испытательной установки реализована в микроконтроллере PyBoard с представлением результатов измерений в персональный компьютер. Между измерительной схемой и компьютером организован двухсторонний обмен информацией. На вход компьютера поступают данные о приложенной к образцу силе, об его удлинении, фиксируется время, кроме этого поступает информация о состоянии концевых выключателей кнопок управления установкой. Программное обеспечение установки осуществляет калибровку датчиков, рассчитывает механическое напряжение, возникающее в образце металла.

На рисунке 2 представлен интерфейс программы, содержащей библиотеку matplotlib для построения графиков.

Программное обеспечение даёт возможность отобразить результаты испытания в виде графиков (нагрузка-перемещение, нагрузка-время и перемещение-время) в реальном времени, определить текущие скорости перемещения подвижной траверсы (мм/мин) и нагружения (кН/с), текущее и максимальное значение деформации и нагрузки, приложенной к испытываемому образцу, сохранять результаты испытания для дальнейшей обработки и выводить на печать протокол испытания.

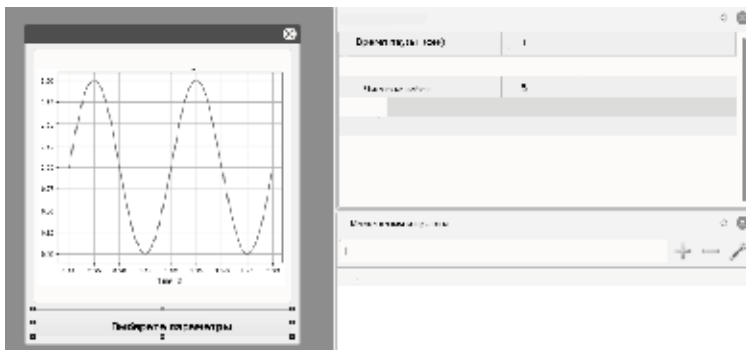


Рис. 2. Интерфейс программы

Автоматизация измерительных операций в процессе испытания образцов металла снижает трудоемкость исследовательских работ, устраняет влияние человеческого фактора.

Полученные результаты являются основой для разработки автоматизированной установки для испытания образцов при циклических нагрузках [2–4].

Литература

1. Причины и последствия аварий и отказов турбогенераторов. Доступно по: URL: <http://elektro-nt.ru/investigation-of-the-causes-of-accidents/accidents-faults-of-turbogenerators/15-causes-consequences-of-accidents-and-failures-of-turbine-generators.html>. Ссылка активна на 15.12.2020.

2. Хуснутдинова И.Г., Баширов М.Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля // Механика предельного состояния и смежные вопросы. Материалы всероссийской научной школы-конференции, посвященной 85-летию профессора Д.Д. Ивлева. Ижевск: Изд-во ИГТУ, 2015. С. 202–207.

3. Усманов Д.Р., Хуснутдинова И.Г. Разработка электромагнитно-акустического метода оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Наука. Технология. Производство, 2015. Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. С. 56–58.

4. Ишмухаметов В.С., Ясафова А.Р., Хуснутдинова И.Г. и др. Электромагнитный инденторный метод диагностики нефтегазового оборудования // Газовая промышленность, 2013. № 5 (700). С. 44–47.

5. Баширов М.Г., Хуснутдинова И.Г., Хафизов А.М. Метод оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // В сборнике: Федоровские чтения. Материалы XLIV международной научно-практической конференции. М.: Изд-во МЭИ, 2014. С. 113–115.

6. Khusnutdinova I.G., Bashirov M.G. The use of electromagnetic-acoustic method for estimating the stress-strain state of the metallic elements of power equipment // Key Engineering Materials, 2017. Т. 743. С. 463–467.

7. Bashirov M.G., Bashirova E.M., Khusnutdinova I.G. The dynamic identification of the technical condition of pipelines on the basis of the analysis of the temporal characteristics of electromagnetic-acoustic signal // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. P. 12042.

УДК 62-503.55

УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО «ОВЕН»

Баширов Мусса Гумерович, Кислицын Никита Алексеевич,
Акчури Дамир Шамилевич
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
филиал в г. Салавате, Россия
eapp@yandex.ru, kislicyn2013@bk.ru, akihiro177@mail.ru

В статье представлен учебный лабораторный комплекс, состоящий из физического стенда на основе программных и технических средств ПО «ОВЕН» и его цифрового двойника. Лабораторный комплекс позволяет обучающимся исследовать временные и частотные характеристики объектов управления как в очном, так и в дистанционном режиме, получить навыки и умения разработки и эксплуатации систем автоматического управления, диагностики и противоаварийной защиты этих объектов.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, программируемое реле, модули программно-аппаратного комплекса, среда разработки, панель оператора.

TRAINING LABORATORY COMPLEX BASED ON SOFTWARE AND HARDWARE "OWEN"

Bashirov Mussa Gumerovich, Kislicyn Nikita Alekseevich, Akchurin Damir Shamilevich

The article presents an educational and laboratory complex, consisting of a physical stand based on the software and hardware of the «OWEN» software complex and its digital duplicate. The laboratory complex allows students to study the time and frequency

characteristics of control objects both at a distance and remotely, to acquire skills and abilities in the development and operation of automatic control systems, diagnostics and emergency protection of these objects.

Keywords: programmable logic controller, programmable relay, development environment, operator panel.

Введение экономических санкций против РФ привело к тому, что промышленные предприятия при строительстве, реконструкции и модернизации объектов стали ориентироваться на программные и технические средства автоматизации отечественных производителей. В связи с этим возникла потребность в специалистах по автоматизации, имеющих практические умения и навыки разработки, наладки, эксплуатации и обслуживания систем автоматического управления, построенных на базе программно-технических комплексов отечественных производителей. Для подготовки таких специалистов учебные заведения должны иметь лабораторные стенды, позволяющие учащимся получить эти умения и навыки. В настоящее время положение усугубляется еще и тем, что в связи с переводом изучения большинства дисциплин в вузах на дистанционную форму обучения, в технических вузах возникла проблема с выполнением лабораторных работ, позволяющих получить обучающимся необходимые умения и навыки. Одним из способов решения этой проблемы является дополнение физических лабораторных стендов, разработанных на основе отечественных программно-технических комплексов, их цифровыми двойниками. Цифровой двойник – это виртуальная копия реального объекта, которая ведет себя так же, как реальный объект, позволяет исследовать все процессы, происходящие с физическим объектом [1].

В данной работе представлен учебный лабораторный комплекс, состоящий из физического стенда на основе программных и технических средств ПО «ОВЕН» и его цифрового двойника, разработанного с использованием SCADA-системы «ОВЕН Телемеханика ЛАЙТ», эмуляторов контроллера, программируемого реле и электрической печи.

Лабораторный стенд смонтирован на перфорированной панели стола наладчика «Гефесд». Средства автоматизации размещены на панели стенда следующим образом: на верхней DIN-рейке размещены автоматический выключатель электропитания, блок питания, программируемое реле и устройство задания сигналов. На нижней DIN-рейке размещены модули ввода/вывода и программируемый контроллер. Сенсорная панель оператора размещена в центре, справа от нее находится эмулятор печи с двумя охлаждающими вентиляторами (рис. 1). Обмен данными между

модулями стенда осуществляется по протоколу RS-485 с кодировкой ASCII (рис. 2) [2]. Технические средства автоматизации ПО «ОВЕН», использованные при разработке учебного лабораторного комплекса, приведены в таб. 1.

Таблица 1

Список использованных средств автоматизации ПО «ОВЕН»

| № | Модификация | Обозначение |
|---|--|-------------|
| 1 | «ОВЕН» Блок питания одноканальный | БП60Б |
| 2 | «ОВЕН» Программируемое реле с дисплеем | ПР200 |
| 3 | «ОВЕН» Устройство задания сигналов | УЗС1 |
| 4 | «ОВЕН» Модуль дискретного ввода/вывода | МК110 |
| 5 | «ОВЕН» Модуль аналогового ввода | МВ110 |
| 6 | «ОВЕН» Программируемый логический контроллер | ПЛК110-30 |
| 7 | «ОВЕН» Сенсорная панель оператора | СП307Б |
| 8 | «ОВЕН» Эмулятор печи | ЭП10 |

Программирование контроллера осуществлялось в соответствие со стандартом МЭК 61131-3 в среде CoDeSys v2.3, предоставленной ПО «ОВЕН» [3]. Программа управления эмулятором печи написана на языке ST. Работу программы можно проверить в режиме эмулятора контроллера без подключения его к компьютеру (рис. 3). Программирование реле управления осуществляется с использованием программного продукта ПО «ОВЕН» «OwenLogic» [3]. Все технологические параметры процесса выводятся через интерфейс RS-485 на сенсорную панель оператора СП307, программирование которой осуществляется в среде «Конфигуратор СП3xx». Полноценный обмен данными лабораторного стенда с различными программными приложениями, в том числе взаимодействие с цифровым двойником, осуществляется посредством OPC-сервера.

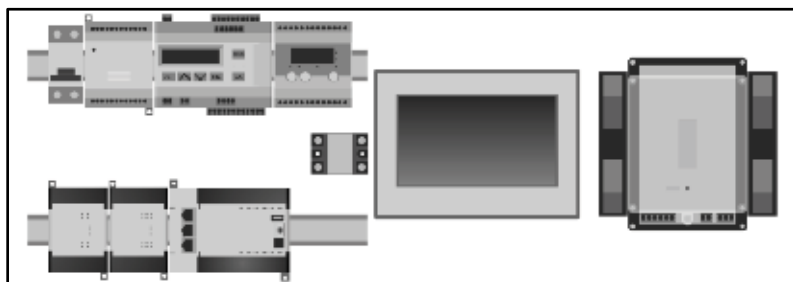


Рис. 1. Расположение модулей на панели лабораторного стенда

Такое решение позволяет дополнять цифровой двойник станда различными виртуальными объектами и осуществлять управление ими как с физического станда, так и дистанционно с использованием его цифрового двойника.

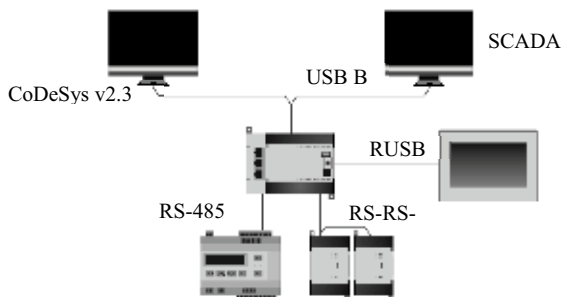


Рис. 2. Взаимодействие между модулями станда

Конфигурирование цифрового двойника лабораторного станда включает в себя:

- разработку математической модели объекта управления;
- формирование на основе математической модели объекта текущих значений технологических параметров;
- разработку системы противоаварийной защиты (ПАЗ), которая срабатывает при заданных значениях технологических параметров без физического разрыва цепи питания эмулятора печи.
- диагностику технического состояния элементов электропривода вентиляторов, энергетического и технологического оборудования [5, 6].



Рис. 3. Пример кода управления объектом в среде CoDeSysv2.3

Цифровой двойник стенда реализован с использованием ПО CoDeSys 2.3 компании «ОВЕН».

Виртуальным объектом управления является математическая модель печи, разработанная на основе законов Джоуля-Ленца и Ньютона-Рихмана. Интерфейс пользователя цифрового двойника позволяет полностью симулировать работу реального физического стенда (рис. 4).



Рис. 4. Интерфейс цифрового двойника стенда

Разработанный лабораторный комплекс, состоящий из физического стенда и его цифрового двойника, позволяет обучающимся дистанционно выполнять лабораторные работы, получать необходимые для профессиональной деятельности навыки и умения.

Литература

1. Баширов М.Г., Хафизов А.М. Разработка системы «улучшенного управления» техническим состоянием оборудования и промышленной безопасностью предприятий нефтехимии и нефтепереработки // Наука. Технология. Производство-2014: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. С. 55–57.
2. Баширов М.Г., Прахов И.В., Кислицын Н.А. и др. Учебный имитационно-моделирующий комплекс на основе программных и технических средств отечественной компании ОВЕН // «Интеграция науки и образования в ВУЗах нефтегазового профиля, 2020». Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. С. 191–194.

3. ОВЕН ПЛК110. Контроллер программируемый логический. Доступно по: URL: https://owen.ua/uploads/78/re_oven_plk110_ukr_617.pdf. Ссылка активна на 14.03.2020.

4. Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В. Патент на изобретение RU 2431152. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом. Заявка № 2009143292/28 от 23.11.2009.

5. Баширов М.Г., Хуснутдинова И.Г., Хуснутдинова Л.Г. и др. Электромагнитно-акустический метод оценки технического состояния энергетического оборудования // Промышленная энергетика, 2016. № 12. С. 8–13.

УДК 62-503.55

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ДИАГНОСТИКИ И ЗАЩИТЫ ТЕПЛОВОГО ОБЪЕКТА

Баширов Мусса Гумерович, Прахов Иван Викторович,
Николаев Кирилл Григорьевич, Костиков Илья Игоревич
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
филиал в г. Салавате, Россия
eapp@yandex.ru, priwan@yandex.ru, NikolaevKfd@yandex.ru, Kostikovi@hotmail.com

Разработан цифровой двойник лабораторного стенда для изучения системы управления и защиты теплового объекта с использованием технологии усовершенствованного управления технологическим процессом, основанной на построении математической модели объекта управления.

Ключевые слова: система улучшенного управления, математическая модель, цифровой двойник, закон Ньютона-Рихмана, закон Джоуля-Ленца, эмулятор печи, микропроцессорный контроллер.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL DOUBLE OF A LABORATORY STAND FOR STUDYING THE CONTROL SYSTEM, DIAGNOSTICS AND PROTECTION OF A THERMAL OBJECT

Bashirov Mussa Gumerovich, Prakhov Ivan Viktorovich,
Nikolaev Kirill Grigoryevich, Kostikov Ilya Igorevich

A digital double of a laboratory stand has been developed to study the control and protection system of a thermal object using advanced process control technology based on the construction of a mathematical model of the control object.

Keywords: advanced control system, mathematical model, digital double, Newton-Richman law, Joule-Lenz law, furnace emulator, microprocessor controller.

В связи с переводом большинства дисциплин в вузах на дистанционную форму обучения в технических вузах возникла проблема с выполнением лабораторных работ, позволяющих получить обучающимся реальные навыки создания, эксплуатации и обслуживания технических систем. Одним из способов решения этой проблемы является дополнение физических учебных лабораторных стендов их цифровыми двойниками. Цифровой двойник – это виртуальная копия реального объекта, которая ведет себя так же, как реальный объект, позволяет исследовать все процессы, происходящие с физическим объектом [1].

В данной работе представлен цифровой двойник лабораторного стенда для изучения системы управления теплового объекта. В физическом лабораторном стенде в качестве теплового объекта использован эмульгатор печи «ЭП-10» ПО «ОВЕН», дополненный вентиляторами обдува с электрическим приводом для реализации каскадной системы управления. Системы управления, диагностики и автоматической противоаварийной защиты реализованы основе контроллера «БАЗИС-100» ЗАО «Экоресурс».

Основные параметры эмульгатора печи и окружающей среды сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Основные параметры эмульгатора печи и окружающей среды

| Параметр | Значение |
|--|-------------------------|
| Материал нагревательного элемента | Нихром Х20Н80-Н |
| Удельная теплоемкость нагревательного элемента | 440 Дж/кг·°С |
| Коэффициент отдачи тепла в окружающую среду | 1 Вт/м ² |
| Выходной управляющий сигнал | 4-20 мА |
| Максимальная мощность нагрева | 10 Вт |
| Минимальная мощность нагрева | 0 Вт |
| Плотность нагревательного элемента | 8 350 кг/м ³ |
| Сопротивление нагревательного элемента | 4 700 Ом |
| Длина корпуса нагревательного элемента | 0,075 м |
| Диаметр нагревательного элемента | 0,02 м |
| Масса нагревательного элемента | 0,03225 кг |
| Температура окружающей среды | + 20 °С |

Изменение температуры тела при нагревании определяется по формуле [2]

$$Q = cm(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, переданное телу; c – удельная теплоемкость материала; m – масса тела; T_1 – начальная температура тела; T_2 – конечная температура тела.

Для регулирования температуры печи по значению сигнала датчика (4–20 мА) используется микропроцессорный контроллер «БАЗИС-100». Мощность нагрева в зависимости от входного сигнала определяется по формуле [3]

$$\frac{(i - i_0)(x_1 - x_0)}{(i_1 - i_0)} + x_0 = P, \quad (2)$$

где i – текущее значение тока входного сигнала; i_0, i_1 – предельные значения тока входного сигнала, 4-20 мА; x_0, x_1 – предельные значения мощности, 0–10 Вт; P – текущая мощность нагрева, Вт.

Подставляя предельные значения тока входного сигнала и мощности нагрева в формулу 2, получим формулу

$$\frac{5(i - 4)}{8} = P. \quad (3)$$

Мощность определяется через напряжение и сопротивление

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad (4)$$

Согласно закону Джоуля-Ленца

$$Q_{\text{нагр}} = Pt, \quad (5)$$

где $Q_{\text{нагр}}$ – количество теплоты, которое выделилось на нагреваемом элементе, Дж; t – время работы, с.

Согласно закону Ньютона-Рихмана количество теплоты, отданное через площадку на границе раздела тел, можно вычислить по формуле

$$Q_{\text{охл}} = \alpha t S \Delta T, \quad (6)$$

где α – количество теплоты, отдаваемое с 1 м² поверхности за единицу времени при единичном температурном напоре, Вт/м²; S – площадь

поверхности корпуса нагревательного элемента, m^2 ; ΔT – разница температуры тела и окружающей среды.

Подставив формулу 3 в формулу 5 получим

$$Q_{\text{нагр}} = \frac{5t(i-4)}{8}. \quad (7)$$

Определить, нагревается тело или остывает, можно по знаку разницы между теплотой нагрева и охлаждения

$$\Delta Q = Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{охл}} = \frac{5t(i-4)}{8} - \alpha t S \Delta T \quad (8)$$

Из формул 1 и 8 получим формулу для вычисления температуры в конкретный момент времени

$$T_2 = \frac{5t(i-4)}{8ct} - \frac{\alpha t S (T_1 - T_0)}{ct} + T_1. \quad (9)$$

Корпус нагревательного элемента представляет собой цилиндр. Площадь поверхности цилиндра вычисляется по формуле

$$S = 2\pi r^2 + 2\pi r \Delta l, \quad (10)$$

полученная формула (9) является математической моделью нагрева или охлаждения эмулятора печи «ЭП-10», которая позволяет создать её виртуальную модель и имитировать её работу в реальном масштабе времени с погрешностью, не превышающей 5 % [4].

Для выполнения лабораторных работ с использованием цифрового двойника лабораторного стенда необходимо произвести конфигурирование контроллера с использованием программы «БАЗИС-100. Программа конфигурирования». Математическая модель эмулятора печи загружается в программу «Эмулятор «БАЗИС-100», которая позволяет воспроизводить все действия контроллера на персональном компьютере. Связь SCADA-системы и эмулятора «БАЗИС-100» осуществляется с помощью программы «Конфигурация OPC-сервера».

Файл конфигурации эмулятора контроллера имеет отличия по сравнению с конфигурацией физического контроллера:

- прописана математическая модель объекта регулирования;
- отсутствуют входные переменные (температура вычисляется на основе математической модели);
- система противоаварийной защиты (ПАЗ) срабатывает согласно программе без физического разрыва цепи питания эмулятора печи [5];
- диагностика технического состояния элементов электропривода вентиляторов осуществляется на основе анализа гармоник тока и напряжения электродвигателя [6].

Разработанный цифровой двойник лабораторного стенда позволяет обучающимся дистанционно изучить в реальном масштабе времени работу электрической печи нагрева, получить навыки и умения разработки, наладки, эксплуатации и обслуживания систем автоматического управления, диагностики и противоаварийной защиты.

Литература

1. Баширов М.Г., Хафизов А.М. Разработка системы «улучшенного управления» техническим состоянием оборудования и промышленной безопасностью предприятий нефтехимии и нефтепереработки // Наука. Технология. Производство-2014: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. С. 55–57.

2. Баширов М.Г., Костиков И.И., Николаев К.Г. и др. Создание имитационно-моделирующего стенда «Системы автоматического управления» на основе современного отечественного программно-технического комплекса «Базис-100» // Научный журнал «Студенческий вестник», 2020. № 17. С. 231.

3. Баширов М.Г., Костиков И.И., Николаев К.Г. и др. Создание виртуальной модели учебного лабораторного стенда на основе современного отечественного программно-технического комплекса «Базис-100» // Научный журнал «Студенческий вестник», 2020. № 17. С. 234.

4. Андриянов И.Н. ПЛК БАЗИС-100 – современное решение для автоматизации технологических процессов // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области, 2012. № 4. С. 1–5.

5. Андриянов И.Н. Индустрия 4.0 на практике: виртуальный стенд объекта автоматизации // Приборы и системы для автоматизации, 2020. № 3. – С. 1–9.

6. Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В. Патент на изобретение RU 2431152. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом. Заявка № 2009143292/28 от 23.11.2009.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И НЕИСПРАВНОСТЕЙ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

¹Баширов Мусса Гумерович, ²Попов Никита Константинович,
³Овчинникова Анастасия Юрьевна

¹Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
в г. Салавате, Россия

²Стерлитамакский филиал ГАНУ «Институт стратегических исследований» АН РБ
eapp@yandex.ru, mr.NikitaRB2010@mail.ru, nst-sia@yandex.ru

Технологические процессы в различных отраслях промышленности зависят от надежной работы машинных агрегатов с электрическим приводом. Машинные агрегаты в процессе эксплуатации подвергаются различным воздействиям, которые могут вызвать их повреждения и отказы, связанные с простоями производства, авариями, значительным экономическим и экологическим ущербом. Для обеспечения необходимого уровня надежности машинных агрегатов необходимы системы диагностического мониторинга, позволяющие обнаруживать их неисправности и предотвращать отказы. В статье приведены результаты моделирования частотных характеристик агрегатов с электрическим приводом при различных технических состояниях с использованием программного пакета MATLAB Simulink. Эти модели могут быть использованы в задачах оценки технического состояния агрегатов.

Ключевые слова: моделирование, быстрое преобразование Фурье, спектр, неисправность, гармоника, частота, асинхронный электродвигатель.

FREQUENCY CHARACTERISTICS AND FAULTS SIMULATION OF MACHINE ASSEMBLIES WITH ELECTRIC DRIVE

Bashirov Mussa Gumerovich, Popov Nikita Konstantinovich,
Ovchinnikova Anastasia Yurievna

Technological processes in various industries depend on the reliable operation of machine assemblies with electric drive. While in operation, machine assemblies are exposed to various impacts, which can cause damage and failures associated with production downtime, accidents, and significant economic and environmental damage. To ensure the necessary level of reliability of machine assemblies, diagnostic monitoring systems are required to detect their faults and prevent failures. The article presents the results of simulation the frequency-domain characteristics of electric drive units under various technical positions by using the MATLAB Simulink software package. These frequency-domain models can be applicable in the challenges of health assessment of assemblies.

Keywords: simulation, fast Fourier transform, spectrum, fault, harmonic, frequency, induction motor.

Внезапный отказ машинных агрегатов с электрическим приводом может привести к нарушению технологического процесса, серьезным

авариям, убыткам и угрозе жизни персоналу. Статистический анализ показывает, что наиболее подвержены повреждениям элементы электропривода [1]. Неисправности электропривода можно разделить на электрические и механические. К электрическим неисправностям относятся старение и увлажнение изоляции, различные виды замыканий в обмотках и повреждения магнитопроводов статора и ротора электродвигателя, а к механическим – дефекты подшипников, разбалансировка роторов, несоосность валов двигателя и рабочего механизма. Также повреждения можно разделить на неисправности неподвижных частей и неисправности вращающихся частей (рис. 1) [2].

Согласно статистическим данным, представленным на рисунке 2, наибольшую долю неисправностей асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором составляют дефекты подшипников, на которые приходится практически половина от всех дефектов, далее следуют повреждения статора (около трети от всех повреждений) [3]. На неисправности ротора двигателя и другие неисправности приходится около пятой части от всех повреждений.



Рис. 1. Основные повреждения агрегатов с электрическим приводом

На сегодняшний день большие перспективы имеют методы оценки технического состояния машинных агрегатов с электрическим приводом, основанные на спектральном анализе токов и напряжений электродвигателя применением дискретного быстрого преобразования Фурье, также называемого *FFTAnalysis* [4].

Путем экспериментальных исследований установлено, что электродвигатель машинного агрегата является своеобразным высокочувствительным «датчиком», который при появлении различных повреждений, как в самом электродвигателе, так и в рабочем механизме, генерирует высшие гармонические составляющие токов и напряжений с параметрами, зависящими от характера и параметров повреждения [5]. Этот метод позволяет выявлять практически все дефекты электрического и механического характера как электродвигателя, так и всего агрегата, является относительно недорогостоящим, позволяет проводить удаленную диагностику машинных агрегатов путем подключения датчиков тока и напряжения к проводом электропитания в распределительном устройстве.



Рис. 2. Статистика повреждений асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Для решения задачи идентификации технического состояния машинных агрегатов по значениям параметров гармоник токов и напряжения двигателя электропривода проводятся исследования как в лабораторных условиях, так и на действующих агрегатах в производственных условиях. Но такие исследования трудоемки, требует много времени и не все виды повреждений агрегатов можно физически смоделировать. Поэтому наряду с экспериментальными исследованиями реальных машинных агрегатов проводятся исследования виртуальных машинных агрегатов с использованием их частотных моделей. При этом осуществляется компьютерная симуляция различных режимов работы и характерных повреждений отдельных элементов агрегатов.

На рис. 3 показана структурная схема модели машинного агрегата. В данной работе для создания частотной модели машинного агрегата

с приводом от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором использован программный пакет *MATLABSimulink*.

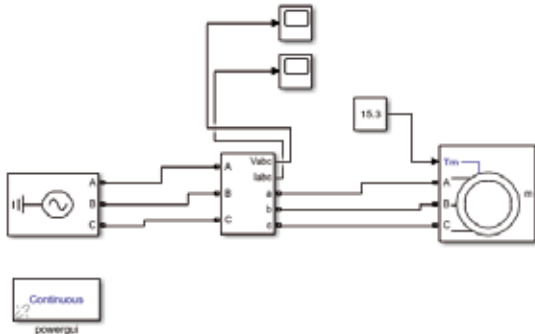


Рис. 3. Структурная схема модели машинного агрегата с приводом от асинхронного электродвигателя с КЗ ротором

На рисунке 4а показан спектр гармоник тока одной фазы электродвигателя при исправном состоянии модели машинного агрегата. Путем симулирования межвиткового замыкания в обмотке статора электродвигателя получен спектр гармоник тока, представленный на рис. 4, б.

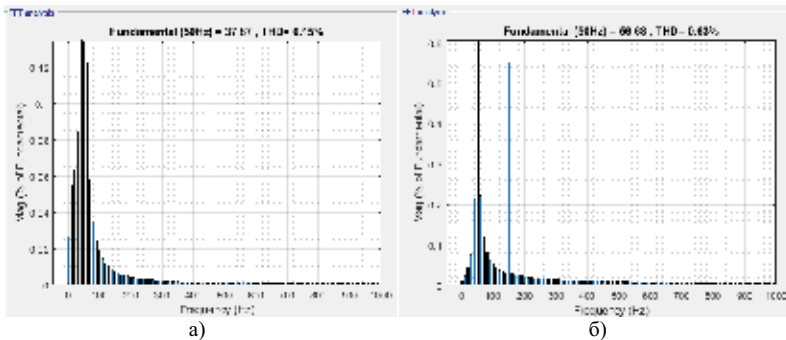


Рис. 4. Спектр гармоник тока одной фазы электродвигателя: а) при исправном состоянии; б) при межвитковом замыкании обмотки статора

Сравнение спектров гармоник токов и напряжений, полученных для различных повреждений агрегата путем моделирования, с реальными спектрами гармоник токов и напряжений при идентичных повреждениях,

показывает, что использование частотных моделей машинных агрегатов позволяет с высокой достоверностью оценить их техническое состояние и режим работы.

Литература

1. Баширов М.Г., Прахов И.В., Самородов А.В. Исследование взаимосвязи режимов работы и характерных повреждений насосно-компрессорного оборудования с параметрами генерируемых двигателем электрического привода высших гармонических составляющих токов и напряжений // Нефтегазовое дело, 2011. № 2. С. 50–55.

2. Bonnettand A.H., Soukup G.C. “Cause and analysis of stator and rotor fail ures in three-phasesquirrel-cageinduction motors”: in IEEE Transaction on Industry Applications. Vol. 28. No. 4, 1992. PP. 921–937.

3. Миронова И.С., Баширов М.Г., Касимова Э.Ф. Интегральные параметры для оценки технического состояния двигателей электропривода машинных агрегатов нефтегазовых производств // Современные проблемы науки и образования, 2011. № 3. С. 33–36.

4. Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В. Патент на изобретение RU 2431152. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом. Заявка № 2009143292/28 от 23.11.2009.

5. Баширов М.Г., Чурагулов Д.Г. Интеллектуальная система управления техническим состоянием и энергетической эффективностью машинных агрегатов нефтегазового производства с электрическим приводом // Промышленная энергетика, 2019. № 6. С. 32–41.

УДК 65.011.46

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТА

Доманов Виктор Иванович, Михайлов Эдгард Игоревич
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»,
г. Ульяновск, Россия
andrew.domanov@gmail.com, edgardmikhaylov@mail.ru

Проблемой гидроэнергетики является точное подержания частоты сети, то есть подержания в условиях изменения напора воды и изменениях нагрузки единой энергосистемы. Так как ведущей станцией на данный момент в европейской части является Жигулевская ГЭС с 20 поворотно-лопастными турбинами и суммарной мощностью 2488 МВт, задает частоту всей энергосистеме, совместно со всеми

остальными ГЭС входящих в эту сеть. Из этого мы понимаем какую ответственность несет за собой автоматическое регулирования ГЭС. В статье рассматриваются варианты регулирования и вариант с новым схмотехническим решением и алгоритма для реализации системы управления электрогидравлическим приводом с более высокими технико-экономическими параметрами.

Ключевые слова: регулирования гидроагрегата, сервомотор, золотник, чувствительный элемент, комбинатор, направляющий аппарат, ШИМ-сигнал.

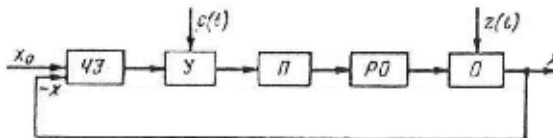
AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS OF THE HYDRAULIC UNIT

Domanov Viktor Ivanovich, Mikhaylov Edgard Igorevich

The problem of hydropower is the exact maintenance of the network frequency, that is, maintaining it under conditions of changing water pressure and changes in the load of the unified energy system. Since the leading station at the moment in the European part is the Zhigulevskaya HPP with 20 Kaplan turbines and a total capacity of 2488 MW, it sets the frequency of the entire power system, together with all other HPPs included in this network. From this we understand what responsibility the automatic regulation of hydroelectric power plants bears. The article discusses control options and a variant with a new circuit design and algorithm for the implementation of an electro-hydraulic drive control system with higher technical and economic parameters.

Keywords: regulating the hydraulic unit, servo motor, spool, sensing element, combinator, guide device, PWM signal.

Для выполнения регулирования регулятор прежде всего должен иметь блок измерения регулируемой величины и её сравнение с заданной значением. Такой блок называют чувствительным элементом. При наличии отклонения регулируемой величины от заданного регулятор вырабатывает определенный сигнал, называемый регулируемой воздействием, который через преобразовательные-усилительные механизмы воздействует на регулирующий орган и изменяет параметр регулирования. Направление регулирующего воздействия выбирается таким образом, чтобы уменьшить отклонения регулируемой величины от заданного. Простейшая система автоматического регулирования может быть представлена в виде структурной схемы, показанной на рис. 1.



x_0 — заданное значение регулируемой величины; ЧЗ — чувствительный элемент; У — усилитель; П — преобразователь; РО — регулирующий орган; О — объект регулирования (в большинстве случаев регулирующий орган конструктивно входит в объект регулирования); z — возмущающие воздействия (стрелками показано направление протекания сигналов)

Рис. 1. Структура простейшей системы автоматического регулирования

Следует обратить внимание на то, что воздействие в системе регулирования передаются по замкнутому контуру. На рис. 1 выход объекта в регулировании связи с входом регулятора. Эта связь называется главной обратной связью в отличие от дополнительных обратных связей, используемых в регуляторах для различных целей.

Причиной, вызывающей отклонения регулируемой величины от заданного значения, являются возмущения воздействия, действующие на объект регулирования. Именно они вызывают необходимость применения автоматического регулирования. Если бы не было возмущающих воздействий, то система, будучи приведена в состояние равновесия, оставалась бы в этом состоянии и не требовала дальнейшего регулирования. Так, при регулировании частоты вращения гидроагрегата возмущающими воздействиями является изменения нагрузки на генератор или изменения момента турбины действующего напора воды на гидроэлектростанции. При регулировании уровня жидкости в каком-либо резервуаре возмущающими воздействиями являются изменения скорости её уровня.

В рассматриваемых случаях задаваемое значение регулируемой величиной $x_0 = \text{const}$. Однако имеются автоматические системы, в которых регулируемая, или выходная, величина $X_{\text{вых}}(t)$ с допустимой ошибкой (точностью) воспроизводит изменение входной величины $X_{\text{вх}}(t)$, изменяющейся по произвольному закону. Здесь не обязательно, чтобы $X_{\text{вых}}(t) = X_{\text{вх}}(t)$.

Чаще встречаются системы, когда $X_{\text{вых}}(t) = k_0 X_{\text{вх}}(t)$, где k_0 – коэффициент заданного закона воспроизведения. Такие системы называются следящими. Примером следящей системы является устройство, называемое комбинатором, используемое в регуляторах скорости гидротурбин для установки угла разворота лопастей рабочего колеса поворотно-лопастных турбин в зависимости от величины открытия направляющего аппарата, что обеспечивает оптимальное для данного открытия значение коэффициента полезного действия турбины.

На рис. 2 показана принципиальная схема этой следящей системы. Сервомотор 1 служит для поворота лопастей рабочего колеса турбины и управляется золотником 2, к которому подводится масло под давлением p_0 . Сервомотор и золотник связаны между собой рычажной передачей 3, играющей роль обратной связи и элемента сравнения. Через рычажную передачу золотник 2 связан с кулачком 4 определенного заданного профиля.

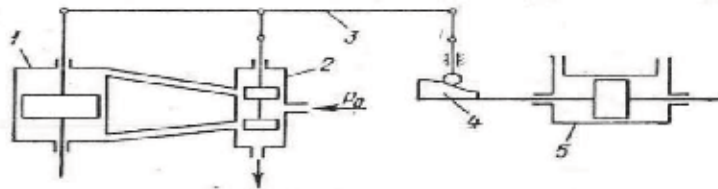


Рис. 2. Схема следящей системы комбинатора поворотной-лопастной гидротурбины

Кулачок жестко связан со штоком сервомотора 5 направляющего аппарата турбины, управляемым автоматическим регулятором скорости.

Система действует следующим образом. При смещении поршня сервомотора 5, например вправо, кулачок 4 через рычажную передачу 3 смещает золотник 2 вверх. Масло под давлением от золотника 2 поступает в верхнюю полость сервомотора 1, а нижняя его полость соединяется со сливом. В результате поршень сервомотора 1 смещается вниз и изменяет угол разворота лопастей рабочего колеса. Одновременно через рычажную передачу 3 поршень сервомотора 1 возвращает золотник 2 в исходное среднее положение. Таким образом, профиль кулачка 4 обеспечивает определенную, наперед заданную зависимость положения поршня сервомотора рабочего колеса от положения сервомотора направляющего аппарата: Эта система является позиционной следящей системой. Следящие системы нашли самое широкое применение при автоматизации процессов по всем отраслям промышленности [1].

В процессе исследований была разработана программа для микроконтроллера управления гидроцилиндрами [2, 4].

Разработанная программа предназначена для управления пропорциональным гидроприводом и содержит следующие модули:

- 1) установки начального смещения двух ШИМ-сигналов;
- 2) согласованного управления двух ШИМ;
- 3) управляемого смещения двух ШИМ-сигналов относительно друг друга;
- 4) нормализации сигналов управления.

Для согласованного управления двумя гидроцилиндрами, которые обеспечивают два противоположных движения, используется модуль согласованного управления двух ШИМ. При поступлении аналогового управляющего сигнала на вход АЦП микроконтроллера происходит формирование двух ШИМ-сигналов, причем входной управляющий сигнал действует на них противофазно, то есть приращение коэффициента заполнения ШИМ-сигнала на одном канале сопровождается уменьшением коэффициента заполнения ШИМ-сигнала на втором канале. При таком

управлении формируется согласованное управление гидроцилиндром, обеспечивающим перемещение по одной оси.

Модуль нормализации сигналов управления обеспечивает согласование уровней входных аналоговых управляющих сигналов с величиной скважности выходных ШИМ-сигналов. Это позволяет согласовать работу микроконтроллера с различными входными узлами управления и установить значения V_{MAX} и V_{MN} .

На рис. 3 приведен алгоритм функционирования разработанной программы [5].

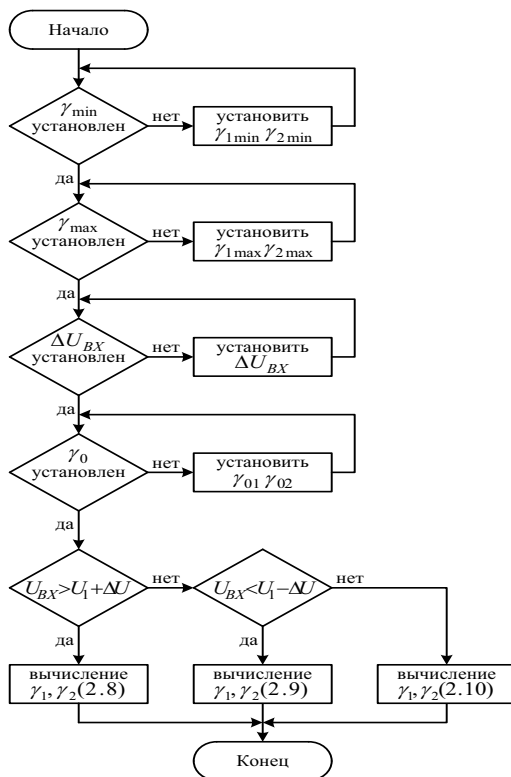


Рис. 3. Алгоритм работы программы

Работа программы происходит следующим образом. В начальный момент устанавливаются значения:

– скажностей $\gamma_{1\min}$ и $\gamma_{2\min}$, которые обеспечивают «ступеньку» компенсации нелинейности трения в момент начала движения и достижения минимальной скорости V_{\min} ;

– скажностей $\gamma_{1\max}$ и $\gamma_{2\max}$, которые обеспечивают достижение заданного значения максимальной скорости V_{\max} ;

– зоны нечувствительности входного напряжения ΔU_{ex} для снижения влияния помех во входном сигнале;

– начальных значений смещений ШИМ сигналов γ_{10} и γ_{20} .

В процессе работы программы происходит формирование ШИМ-сигналов исходя из условий:

– если $\Delta U_{ex} > U_1 + \Delta U$, то

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \gamma_{10} + \gamma_{1\min} + \frac{\gamma_{1\max} - \gamma_{10} - \gamma_{1\min}}{U_{ex\max} - U_{ex\min}} U_{ex} \\ \gamma_2 &= \gamma_{20} - \frac{\gamma_{2\max} - \gamma_{2\min}}{U_{ex\max} - U_{ex\min}} U_{ex} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

– если $\Delta U_{ex} < U_1 + \Delta U$, то

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \gamma_{10} - \frac{\gamma_{1\max} - \gamma_{1\min}}{U_{ex\max} - U_{ex\min}} U_{ex} \\ \gamma_2 &= \gamma_{20} + \gamma_{2\min} + \frac{\gamma_{2\max} - \gamma_{20} - \gamma_{2\min}}{U_{ex\max} - U_{ex\min}} U_{ex} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

– если $U_1 - \Delta U < \Delta U_{ex} < U_1 + \Delta U$, то

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \gamma_{10} \\ \gamma_2 &= \gamma_{20} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Такое управление позволяет снизить пульсации на низких скоростях и уменьшить гистерезис в характеристике гидропривода [2, 3].

Литература

1. Пивоваров В.А. Проектирование и расчет систем регулирования гидротурбин // Ленинград «Машиностроение», 1973. С. 7.

2. Доманов В.И., Доманов А.В., Карпухин К.Е. Автоматическая система управления дуговой плавильной печи // Промышленные АСУ и контроллеры, 2010. № 4. С. 10–12.

3. Доманов В.И., Доманов А.В., Карпухин К.Е. Электрогидропривод дорожно-строительных машин // Электроника и электрооборудование транспорта, 2010. № 5–6. С. 46–49.

4. Доманов В.И., Доманов А.В., Карпухин К.Е. Выбор элементов и анализ АСУ дуговой плавильной установки // Промышленные АСУ и контроллеры, 2011. № 5. С. 37–42.

5. Доманов В.И., Доманов А.В., Карпухин К.Е. Патент № 94293 Российская Федерация, МПК51, F15B 9/12. Электрогидравлическая система управления. Заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет». № 2009140242; заявл. 30.10.2009; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14.

УДК 681.513.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК СЛЕДЯЩЕГО ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЗАДАЮЩИХ И ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Зайнуллин Ильнур Ильсурович, Филиппов Артур Николаевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
ilnur1996@gmail.com, cs.s1997@yandex.ru

В тезисе рассмотрен синтез регулятора контура положения следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка, обеспечивающего получение заданных точностных характеристик. Проведено исследование зависимости ошибок от вида задающих и возмущающих воздействий.

Ключевые слова: электропривод, двигатель постоянного тока, астатизм второго порядка, контур тока, контур скорости, контур положения, стандартная настройка на оптимум по модулю.

RESEARCH OF ERRORS OF THE FOLLOWING POSITIONAL ELECTRIC ACTUATOR WITH SECOND ORDER ASTATISM UNDER DIFFERENT KINDS OF GIVING AND DISTURBING IMPACTS

Zainullin Ilnur Ilisurovich, Filippov Artur Nikolaevich

In the thesis, the synthesis of the controller of the position loop of the servo positional DC drive with second-order astatism is considered, which ensures the obtaining of the

specified accuracy characteristics. The study of the dependence of errors on the type of setting and disturbing influences is carried out.

Keywords: electric drive, DC motor, second-order astatism, current loop, speed loop, position loop, standard tuning to optimum modulus.

Электропривод постоянного тока, построенный по принципу подчиненного регулирования координат, содержит контур тока и контур скорости, настроенные на оптимум по модулю.

В качестве электромеханического преобразователя в разрабатываемом электроприводе применен двигатель постоянного тока МИ-32. ЭП имеет контур тока и контур скорости, в которых реализована стандартная настройка на оптимум по модулю. Для расчета ПИИ-регулятора контура тока и П-регулятора контура скорости приняты следующие параметры блока питания, датчика тока и тахогенератора: $K_{\text{бп}} = 14$; $T_{\text{бп}} = 0,0052$ с; $K_{\text{дт}} = 0,73$ Ом; $T_{\text{дт}} = 0,004$ с; $K_{\text{тг}} = 0,0458 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$; $T_{\text{тг}} = 0,008$ с.

Для синтеза регулятора использовался метод ЛЧХ, основанный на сопоставления ЛЧХ $L_{\text{н}}(\omega)$, $\theta_{\text{н}}(\omega)$ разомкнутой нескорректированной системы с так называемыми желаемыми ЛЧХ $L_{\text{ж}}(\omega)$, $\theta_{\text{ж}}(\omega)$, при формировании которых учитывались требования к точностным характеристикам и динамическим показателям электропривода, сформулированные в техническом задании.

Желаемая передаточная функция ЭП с астатизмом второго порядка

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{K_{\varepsilon}(T_{1\text{ж}}s + 1)}{s^2(T_{2\text{ж}}s + 1)} = \frac{24,2437(0,6736s + 1)}{s^2(0,0321s + 1)}; \quad (1)$$

Далее вычисляется передаточная функция регулятора положения $W_{\text{рп}}(s) = W_{\text{ж}}(s)/W_{\text{н}}(s)$ и строится ее ЛАЧХ, представленная на рис. 1.

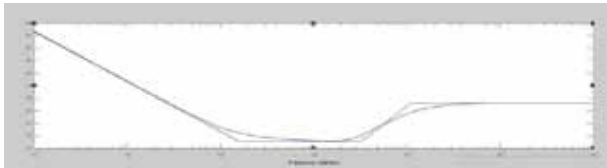


Рис. 1. ЛАЧХ регулятора положения

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{W_{\text{ж}}(s)}{W_{\text{н}}(s)} = \frac{K_{\text{рп}}(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{T_1s(T_3s + 1)} = \frac{6,3981(0,76923s + 1)(0,03205s + 1)}{0,76923s(0,00833s + 1)} \quad (2)$$

Передаточная функция неизменяемой части ЭП

$$W_n(s) = \Phi_{\text{кв}}^{\text{ом}}(s) \cdot K_{\text{ДП}} = \frac{K_{\text{дп}} / K_{\text{тр}} (T_{\text{тр}} s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{кв}} s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{кв}} s + 1} = \frac{1257,86(0,0018s + 1)}{9,248 \cdot 10^{-5} s^2 + 0,0136s + 1} \quad (3)$$

Полученную ЛАЧХ следует аппроксимировать четырьмя асимптотами и придать регулятору положения свойства ПИД-регулятора. Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка показана на рис.2.

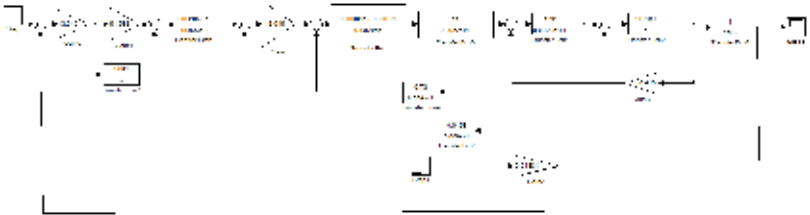


Рис. 2. Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка

Моделирование структурной схемы динамической модели производилось с применением программы Matlab. Результаты моделирования показаны на рис. 3–6, из которых видно, что ошибки системы зависят от вида задающих и возмущающих воздействий. Поскольку система включает интегрирующее звено на выходе, то очевидно, что статическая ошибка будет равна нулю, а скоростная ошибка составляет $0,127^\circ$. Влияние возмущающего воздействия сказывается на динамической точности ЭП, а моментная составляющая ошибки составляет $0,001103^\circ$.

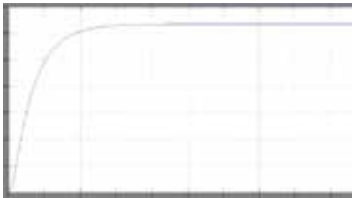


Рис. 3. График ошибки системы при линейно возрастающем задающем воздействии



Рис. 4. График ошибки системы при квадратично возрастающем задающем воздействии



Рис. 5. График моментной составляющей ошибки системы при ступенчатом моменте сопротивления

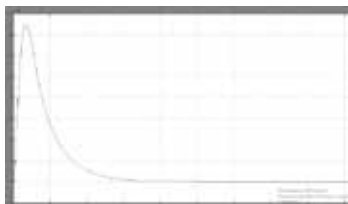


Рис. 6. График моментной составляющей ошибки системы при линейно возрастающем моменте сопротивления

Литература

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Медведев Г.М. Основные этапы проектирования электроприводов // Развитие технических наук в современном мире: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Воронеж, 2015. С. 180–183.

2. Бутаков В.М., Баязитов В.О., Дудкин И.М. Расчет характеристик электроприводов // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 4. г. Санкт-Петербург, 2017. С. 94–98.

УДК 621.311.1

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ЯЗЫКЕ DELPHI

Иванова Вилия Равильевна, Киселев Игорь Николаевич
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
 vr-10@mail.ru, igorkiselev17@gmail.com

Приведены нормативные требования к заземляющим устройствам. Описан интерфейс Delphi7. Приведено описание графического интерфейса и компонентов разработанной программы. Приведены формулы, по которым производится расчет в программе. Указано достоинство над аналогичным бесплатным ПО.

Ключевые слова: заземляющее устройство, заземлитель, ПУЭ, программное обеспечение, Delphi, Object Pascal.

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR CALCULATION OF EARTHING DEVICES OF ELECTRICAL INSTALLATIONS IN DELPHI LANGUAGE

Ivanova Viliya Ravilievna, Kiselev Igor Nikolaevich

The regulatory requirements for grounding devices are given. The Delphi7 interface is described. The description of the graphical interface and components of the developed

program is given. The formulas for calculating in the program are given. Dignity over similar free software is indicated.

Keywords: grounding device, earthing switch, electrical installation rules, software, Delphi, Object Pascal.

Для обеспечения безопасности людей при эксплуатации электроустановок предусматривается защитное заземление. Основным нормативно-техническим документом, предъявляющим требования к заземлению электроустановок, являются Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства (ЗУ), подключенного к нейтрали трансформатора или генератора, должно быть не более 2, 4 и 8 Ом при линейных напряжениях 660, 380, 220 В соответственно. Сопротивление всех повторных ЗУ (заземление PEN-проводника ВЛ или на вводе в здание) должно быть не более 5, 10, 20 Ом при линейных напряжениях 660, 380, 220 В соответственно.

Сопротивление ЗУ R_3 в системе ИТ должно удовлетворять условию:

$$R_3 \leq \frac{50}{I_3}, \quad (1)$$

при этом допускается сопротивление ЗУ до 10 Ом, где I_3 – расчетный ток замыкания на землю.

В электрических сетях среднего напряжения (6–35 кВ) сопротивление ЗУ R_3 должно быть не более:

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3}, \quad (2)$$

но не более 10 Ом. Совмещенное заземляющее устройство для напряжений до 1 кВ и 6–35 кВ приводится к требованиям для ЗУ до 1 кВ.

В сетях с эффективно-заземленной нейтралью (110 кВ и выше) сопротивление заземляющих устройств должно быть не более 0,5 Ом с соблюдением требований ПУЭ по выравниванию потенциала.

Embarcadero Delphi, ранее *Borland Delphi* и *CodeGear Delphi*, – интегрированная среда разработки ПО для *Microsoft Windows*, *Mac OS*, *iOS* и *Android* на языке *Delphi* (ранее носившем название *Object Pascal*), созданная первоначально фирмой *Borland* и на данный момент принадлежащая и разрабатываемая *Embarcadero Technologies*. Основная область применения языка *Delphi* — написание прикладного программного обеспечения.

На экране среды *Delphi7* располагаются окна: форма, компоненты формы, свойства компонентов, палитра компонентов. Форма представляет собой аналог чистого листа, на который перемещаются компоненты из палитры компонентов: кнопки, ячейки ввода-вывода информации, таблицы, графические компоненты и многое другое. Форма представляет основу интерфейса создаваемого ПО. Под формой скрыт редактор кода, в котором размещается программный код на языке *Delphi*, соответствующий содержанию формы. В окне свойств компонента настраиваются различные свойства компонента: наименование компонента, видимость компонента, массив строк и многое другое.

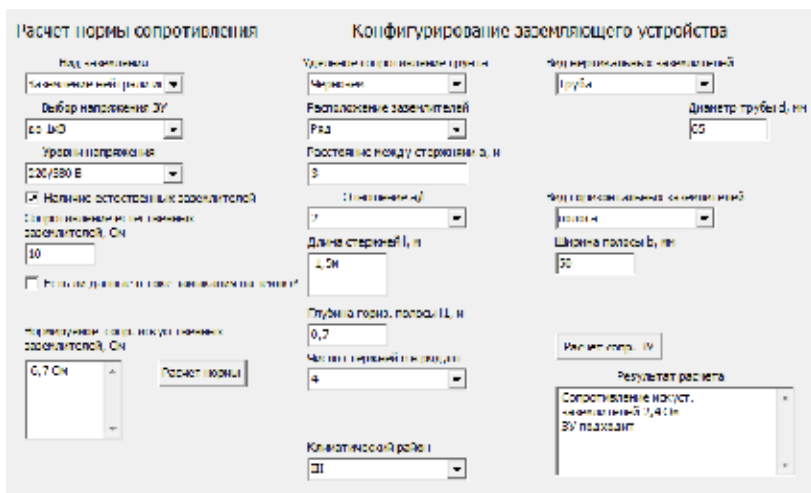


Рис. 1. Графический интерфейс программы

Графический интерфейс разработанной программы представлен на Рис. 1. В выпадающем списке «Вид заземления» выбирается функциональное назначение ЗУ: заземление нейтрали источника или повторное заземление PEN-проводника. В выпадающем списке «Выбор напряжения ЗУ» нужно выбрать напряжение из следующего списка: до 1 кВ, 6–35 кВ, совмещенное НН и СН, до 1 кВ система IT, 110 кВ и выше. Выпадающий список «Уровни напряжения» доступен тогда, когда выбрано напряжение до 1 кВ или совмещенное НН и СН и содержит массив строк из уровней фазного и линейного низкого напряжения: 127/220 В, 220/380 В, 380/660 В. Если установить галочки «Наличие естественных заземлителей» и «Если ли данные о токе замыкания на землю?», то появятся окна ввода

сопротивления естественных заземлителей и тока замыкания на землю соответственно. При наличии данных о токе замыкания на землю произойдет расчет сопротивления по формулам (1) и (2), если выбрано напряжение 6-35 кВ или система заземления IT, при отсутствии – в окне нормируемого сопротивления появится предельное значение согласно ПУЭ. Если имеются естественные заземлители (проложенные в земле стальные водопроводные трубы, броня и свинцовые оболочки кабелей, металлические конструкции зданий и т.д.) и измеренное значение их сопротивления r_e больше нормы R_3 , то программа производит расчет максимально допустимого сопротивления искусственных заземлителей $r_{иск}$ по формуле:

$$r_{иск} = \frac{r_e R_3}{r_e - R_3}, \quad (3)$$

если r_e меньше нормы R_3 , то программа выводит текст о том, что искусственные заземлители не требуются.

Таким образом, компоненты в области «Расчет нормы сопротивления» позволяют производить расчет нормы сопротивления проектируемого искусственного заземлителя.

В выпадающем списке «Удельное сопротивление грунта» выбирается тип грунта: песок, супесок, суглинок, глина, садовая земля, чернозем, торф. Каждому типу грунта соответствует удельное сопротивление по справочным данным [3]. В программе можно выбрать расположение заземлителей: в ряд или по контуру. В ячейку «Расстояние между стержнями а, м» необходимо задать размер a . Для того чтобы учитывать в расчете влияние вертикальных и горизонтальных заземлителей, по справочным данным [2] выбирается коэффициент экранирования по отношению a/l (или 1, или 2, или 3) и количеству вертикальных заземлителей. Для того чтобы учитывать изменение сопротивления грунта в течение года, по справочным данным выбирается сезонный коэффициент в зависимости от климатического района: I, II, III, IV.

В качестве вертикальных заземлителей в программе используются: стальные труба, прутки или уголок, а в качестве горизонтальных – стальные полоса, прутки или труба. В соответствующие окна вводятся диаметры трубы или прутка вертикального заземлителя d_B и горизонтального d_T или ширина полосы d_T в мм.

В программе производится расчет сопротивления вертикального заземлителя по формулам:

– для прутка или трубы

$$R_{\text{в}} = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (4)$$

– для уголка

$$R_{\text{в}} = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{0,95b} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right). \quad (5)$$

Расчет сопротивления горизонтального заземлителя производится по формулам:

– для прутка или трубы

$$R_{\text{г}} = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{l^2}{dt}, \quad (6)$$

– для полосы

$$R_{\text{г}} = \frac{0,366\rho}{l} \lg \frac{2l}{bt}. \quad (7)$$

Далее находится сопротивление искусственного ЗУ по формуле:

$$R = \frac{1}{\frac{n\eta_{\text{в}} + \eta_{\text{г}}}{R_{\text{в}} + R_{\text{г}}}}, \quad (8)$$

где n – число вертикальных заземлителей, $\eta_{\text{в}}$ и $\eta_{\text{г}}$ – коэффициенты экранирования вертикальных и горизонтальных заземлителей. Найденное значение сравнивается с нормой и на основании сравнения делается вывод о пригодности ЗУ.

Для создания выпадающего списка используется компонент *ComboBox*. Элементы списка записываются в свойство *Items*. Видимость компонентов изменяется при помощи свойства *Visible*. Кнопки реализованы при помощи компонента *Button*. Для ввода значений используется компонент *LabelEdit*, для вывода – *Memo*. Для создания надписей используется компонент *Label*[8].

Из бесплатных программ наиболее похожей на созданную является приложение «Электрик». Достоинством, разработанного приложения, является возможность учета естественных заземлителей при расчете.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министрства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

Литература

1. Жданов Л.Л., Ольшанская Н.В. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. М.: НИЦ ЭНАС, 2013. 104 с.
2. Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий: Учеб. для электромеханич. спец. техникумов. – 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 319 с.
3. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособие для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
4. Культин Н.Б. Основы программирования в Delphi XE. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.
5. Федотов А.И., Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика, № 12, 2016. С. 28–33.
6. Иванов И.Ю. Модернизация дифференциально-фазной защиты линий электропередачи на микропроцессорной элементной базе // Электрические станции, 2012. № 7, С. 51–55.
7. Денисова А.Р. Исследования воздействия внешних электромагнитных полей // Промышленная энергетика, № 6.
8. Ryzhkova Y.N., Mladzievskii E.P., Tsyruk S.A. Development of multifunctional adaptive resonance neutral grounding device // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019 8742956.
9. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Малаион А.С. Метод формирования таблиц для автоматизированного контроля параметров электромеханических преобразователей с применением линейного интегрального критерия // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 2. С. 86–97.

ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Исхаков Рамиль Рустемович, Панкова Полина Викторовна
ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»,
г. Казань, Россия
iskhakovramil96@gmail.com, polina030@yandex.ru

Искусственный интеллект становится неотъемлемой частью, охватывая практически все сферы человеческой деятельности: от смартфонов до серверов крупнейших корпораций, от беспилотных автомобилей до габаритного оборудования промышленных предприятий. Широкое внедрение искусственного интеллекта дает возможность экономического роста страны, так как искусственный интеллект обеспечивает повышение эффективности промышленности и рост производительности труда.

Ключевые слова: искусственный интеллект, искусственные нейронные сети, энергоэффективность, интеллектуальные системы управления.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Iskhakov Ramil Rustemovich, Pankova Polina Viktorovna

Artificial intelligence is becoming an integral part, covering almost all spheres of human activity: from smartphones to servers of the largest corporations, from unmanned vehicles to overall equipment of industrial enterprises. The widespread introduction of artificial intelligence provides an opportunity for economic growth of the country, as artificial intelligence provides an increase in the efficiency of industry and labour productivity growth.

Keywords: artificial intelligence, artificial neural networks, energy efficiency, intelligent control systems.

Искусственный интеллект (ИИ) – область научных исследований, цель которых создание «умных» компьютерных систем, т.е. систем, способных выполнять функции человеческого разума. Стоит подчеркнуть, что искусственный интеллект – это не «суперкомпьютер», а совершенно иной механизм: компьютер лишь выполняет последовательность запрограммированных команд, а ИИ отличается способностью к самообучению, запоминанию и воссозданию образов, выявлению закономерностей, способностью аналитически структурировать информацию и делать выводы.

На практике концепция построения интеллектуальных систем управления предполагает выбор тех или иных технологий обработки знаний в зависимости от специфики решаемых задач, особенностей управляемого объекта, его функционального назначения, условий эксплуатации и т. д. [1, 3, 4].

Внедрение ИИ в электроэнергетике направлено на решение следующих задач:

1. Уменьшение времени поиска и устранения причин отказов оборудования.
2. Сокращение времени вывода оборудования в ремонт.
3. Повышение экологичности оборудования и уменьшения вредного воздействия на окружающую среду.
4. Уменьшение вреда здоровью обслуживающему персоналу.
5. Рационализация использования энергетических ресурсов.
6. Повышение конкурентоспособности за счет совершенствования технологий.
7. Автоматизация рутинных процессов обработки данных.
8. Снижение влияния человеческого фактора.

Развитие искусственного интеллекта неразрывно связано с развитием искусственных нейронных сетей. Они представляют собой имитацию биологических нейронных сетей, благодаря которым в головном мозгу человека происходят процессы мышления, восприятия и так далее. Главным направлением в развитии искусственных нейронных сетей является несколько увеличение числа нейронов, сколько изменение конструкций и конфигураций сетей, что приводит к более точному воспроизведению физиологических свойств человеческого мозга и даже к возможности превзойти его. Чем сложнее нейронные связи, тем более сложную задачу может выполнять ИИ [2].

Можно выделить следующие достоинства внедрения ИИ в энергетике:

1. Своевременное информирование о развивающихся дефектах для принятия мер, предотвращающих аварийные ситуации.
2. Снижение затрат на техническое обслуживание, а, следовательно, и снижение затрат на его эксплуатацию.
3. Повышение надежности электроснабжения потребителей и уменьшение экономических потерь по причине сбоев в поставке электроэнергии и других энергетических ресурсов.
4. Обработка большого объема данных и их систематизации в доли секунд.
5. Снижение влияния человеческого фактора, рост производительности труда.
6. Повышение готовности оборудования к эксплуатации за счет сокращения сроков производства ремонтных работ.
7. Оптимальное распределение топливно-энергетических ресурсов.

Большинство людей, которые хоть раз слышали про возможности искусственного интеллекта, задавались вопросом: заменит ли ИИ человека? Несомненно, развитие ИИ и внедрение во все сферы жизни окажет существенное влияние на рынок труда и экономику в целом. Во-первых, все рутинные процессы будут автоматизированы. Во-вторых, будут предъявляться повышенные требования к квалификации персонала, а менее квалифицированным кадрам неизбежно придется переобучиться и освоить новые навыки и умения. В-третьих, каждый человек – это личность, обладающий своим набором человеческих качеств. В мире все чаще звучит понятие «эмоциональный интеллект». Сможет ли в ближайшие десятилетия ИИ научиться разбираться в эмоциональном состоянии людей и подстраиваться под «человеческие факторы» – актуальный вопрос.

Литература

1. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В. и др. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 334 с.
2. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 287 с.: ил.
3. Денисова А.Р., Фархутдинов А.Р. Перспективы внедрения систем интеллектуального учета электроэнергии // Сборнике «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники. материалы II Всероссийской научно-практической конференции» : в 2 т.. Казанский государственный энергетический университет. Казань, 2020. С. 179–184.
4. Сенчук Д.А., Цырук С.А., Орлова К.В. Перспективы внедрения в России программ по управлению спросом на электроэнергию // Промышленная энергетика, 2016. № 10. С. 30–36.
5. Ivanova V.R., Rozhentcova N.V., Fetisov L.V., et al. Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 kV // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 146–150.
6. Фишов А.Г., Мурашкина И.С., Марченко А.И. и др. Исследование влияния электронной генерации на статическую апериодическую устойчивость электроэнергетической системы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 2. С. 51–64.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРЖСКОГО УЗЛА

Кондрашова Юлия Николаевна, Маркина Ангелина Максимовна,
Новиков Иван Витальевич, Шалимов Алексей Витальевич
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия
rotjuil720@mail.ru

Для анализа устойчивости рассматривают режимы при симметричных коротких замыканиях (СКЗ), так как поведение синхронных машин отличается при коротком замыкании и после ликвидации СКЗ. Для более комплексной оценки конфигураций схемы с учетом режимов работы коммутационного оборудования и токоведущих частей в рамках представленной работы рассчитаны и анализированы значения ТСКЗ и величины остаточных напряжений в сети 110 кВ.

Ключевые слова: остаточные напряжения, симметричное короткое замыкание, потребитель, реконструкция Санкт-Петербургского узла, конфигурация схемы.

DETERMINATION OF THE INITIAL VALUES OF CURRENTS AND RESIDUAL VOLTAGES AT SYMMETRICAL SHORT CIRCUITS FOR CONSUMERS IN THE AREA OF THE ST. PETERSBURG NODE

Kondrashova Yulia Nikolaevna, Markina A.M., Novikov I.V., Shalimov A.V.

For stability analysis, modes are considered with symmetrical short circuits, since the behavior of synchronous machines differs during a short circuit (RMS) and after the elimination of RMS. For a more comprehensive assessment of the circuit configurations, taking into account the operating modes of switching equipment and current-carrying parts, within the framework of the presented work, the values of RMS currents and the values of residual voltages in the 110 kV network were calculated and analyzed.

Keywords: residual voltages, reconstruction of the St. Petersburg node, symmetrical short circuit, consumer, circuit configuration.

РСПУ города Санкт-Петербурга имеет классы напряжений питающих сетей 110 и 330 кВ, сети выполнены кабельными линиями электропередач, в основном из сшитого полиэтилена и маслонесущими с низким давлением. С 2015 года идёт реконструкция узла, в скором времени от этого узла начнут запитываться еще несколько подстанций и добавятся еще несколько источников распределенной генерации. Связь с энергосистемой осуществляется через Василеостровскую подстанцию. Так же на данном узле есть источник распределенной генерации-ТЭЦ-7.

На электростанции установлены два турбогенератора мощностью 60 МВт и один турбогенератора 30 МВт. Выдача напряжения происходит на напряжении 6 кВ. Основными потребителями является бытовая нагрузка, микрорайоны, районы г. Санкт-Петербурга, а также метрополитен.

Для расчетов ТСКЗ и остаточных напряжений РСПУ был применен программный комплекс КАТРАН 7.0 [1]. РСПУ города Санкт-Петербурга имеет классы напряжений питающих сетей 330 и 110 кВ, связь с энергосистемой осуществляется через Василеостровскую подстанцию и содержит источник распределенной генерации-ТЭЦ-7. В рамках работы рассмотрены следующие конфигурации РСПУ:

Вариант 1. Отключены две кабельные линии ПС Василеостровская-104, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104. *Вариант 2.* Отключены две КЛЭП ПС Василеостровская-104, отключена КЛЭП ПС-Василеостровская-Намыв 1, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104. *Вариант 3.* Отключена КЛЭП ПС Василеостровская-Балтийская 13-А, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104. *Вариант 4.* Отключены две КЛЭП ПС Василеостровская-104, отключена КЛЭП ПС Василеостровская-Балтийская 13-А, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, Намыв 1 и 104.

Определение ТСКЗ в фиксированный момент времени в сложно-замкнутой сети в точке короткого замыкания [1–5] является распространенным видом технических расчетов, проводимых при проектировании и эксплуатации электроустановок. В более сложных задачах выполняются расчёты режимов ТСКЗ, в которых определяется распределение токов в питающих элементах системы электроснабжения и остаточные напряжения во всех узлах схемы при ТСКЗ в одном из них. Даже для сравнительно простых схем электроснабжения расчеты ТСКЗ получаются весьма трудоемкими, поэтому предусматривается возможность принятия ряда допущений, например, комплексные нагрузки учитываются приближённо в виде эквивалентной комплексной нагрузки с эквивалентными параметрами (*ЭДС* и сопротивлениями). Допускается не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин и ток намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов; сопротивление системы оценивают, исходя из параметров выключателей, установленных на узловой подстанции при отсутствии данных о ТСКЗ, приближённо учитывается затухание апериодической составляющей, если схема содержит несколько

независимых контуров, а также пренебрегают влиянием активных сопротивлений различных элементов на амплитуду периодической составляющей ТСКЗ, сдвигом по фазе э.д.с. различных синхронных машин и изменением их частоты вращения, если продолжительность ТСКЗ не превышает 0,5 с. Принятие этих упрощений считается допустимым, так как они приводят к увеличению расчетных значений тока ТСКЗ, а для большинства проектных и эксплуатационных задач, как правило, достаточно знать максимально возможные уровни ТСКЗ. Однако поведение нагрузки при остаточных напряжениях в режиме ТКЗ для правильной оценки устойчивости работы систем электроснабжения должно быть выполнено более полно. Иначе невозможно правильно оценить влияние электромагнитных моментов нагрузок на баланс мощностей в ряде уравнений генераторов [5, 6].

В предлагаемом алгоритме [2,3]установившийся режим до ТСКЗ является исходным для переходного режима. Как было отмечено ранее, предварительный установившийся режим считается для определения модулей и фаз э.д.с. генераторов. Схема системы электроснабжения эквивалентуруется и задается своими эквивалентными параметрами, после чего задается местоположение точки короткого замыкания, и она представляется балансирующим узлом с $Z_{к.з.} = 0$ и ЭДС $E = 0 + j0$. Дальнейшие расчеты проводятся при изменившихся условиях связи с энергосистемой. При этом определяется действительное значение периодической составляющей тока при параллельной или раздельной работе.

Расчет режима КЗ основан на методе последовательного эквивалентирования по алгоритму расчета, аналогичному расчету установившегося режима. В результате одного цикла свертывания–развертывания схемы определяются комплексные значения периодической составляющей токов в точке СКЗ и во всех элементах разомкнутых сетей, а также комплексы остаточных напряжений во всех узлах сети [7–9].

В дальнейшем производится коррективка активных и реактивных мощностей нагрузок в соответствии с динамическими характеристиками [2, 3] для различных типов приемников и комплексной нагрузки узлов [10], в соответствии с остаточными напряжениями. Динамические характеристики нагрузки приведены [11].

При исследовании системы при СКЗ на сборных шинах узловых подстанций были получены результаты значений ТСКЗ в начальный момент времени при разных конфигурациях существующей схемы РСПУ, результаты приведены в таблицу 1.

Таблица 1

Токи периодической составляющей в начальный момент времени при СКЗ на секциях шин при различных конфигурациях

| № | ПС | Точка КЗ | $I_{п0}$, кА | | | | |
|----|------------------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Исходный вариант | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 |
| 1 | Василеостровская | 2сш 110кВ | 12,26 | 16,49 | 9,31 | 20,15 | 11,5 |
| 2 | Крестовская | 1сш 110кВ | 12,26 | 13,86 | 8,42 | 16,3 | 10,13 |
| 3 | 14 | 2сш 110кВ | 10,61 | 16,65 | 9,91 | 14,96 | 9,45 |
| 4 | 321 | 1сш 110кВ | 11,07 | 14,4 | 9,04 | 16,6 | 8,66 |
| 5 | 104 | 2сш 110кВ | 11,99 | 11,86 | 7,93 | 20,33 | 7,65 |
| 6 | 104 | 3сш 110кВ | 8,94 | 11,86 | 7,93 | 20,33 | 7,65 |
| 7 | 13-А | 1сш 110кВ | 9,55 | 16,45 | 10,43 | 12,94 | 8,6 |
| 8 | 13-А | 2сш 110кВ | 7,94 | 16,45 | 10,43 | 12,94 | 8,6 |
| 9 | Намыв 2 | 2сш 110кВ | 8,76 | 16,23 | 8,27 | 17,07 | 10,41 |
| 10 | Намыв 1 | 1сш 110кВ | 11,63 | 16,36 | 7,52 | 19,02 | 11,17 |

Построим графики значений токов периодической составляющей в начальный момент времени при СКЗ на секциях шин представленный на рис. 1.

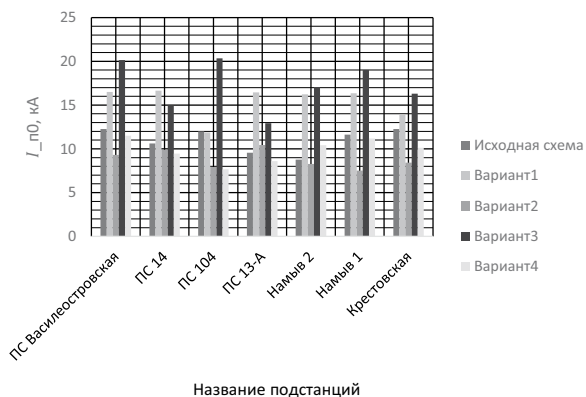


Рис. 1. Значение токов периодической составляющей в начальный момент времени при различных конфигурациях СЭС РСПУ

В существующей схеме более лучший вариант 4 по сравнению с наихудшим вариантом-3, где при СКЗ на ПС Василеостровской токи СКЗ отличаются в 1,8 раз. В следствие чего придется заменять коммутационного электрооборудование. При сравнении вариантов схемы 2 и 4 выяснилось, что отличие токов СКЗ составляет около 10 %. Ниже рассмотрим значения остаточных напряжений на подстанциях для различных конфигураций схемы при СКЗ на сборных шинах 110 кВ. Значения остаточных напряжений приведены в кВ, среднее эксплуатационное напряжение 116,5–117,5 кВ.

Анализируя остаточные напряжения на секциях сборных шин 110 кВ при СКЗ для рассмотренных конфигураций существующей схемы РСПУ были получены следующие выводы:

В зависимости от места КЗ просадка напряжения существует, это вызвана удаленностью короткого замыкания, таким образом, чем дальше находится место СКЗ, тем просадка напряжения меньше. Сравнительный анализ остаточных напряжений на секциях сборных шин 110 кВ при СКЗ при различных конфигурациях существующей схемы РСПУ показал следующее:

Во всех вариантах наибольшая просадка напряжения на сборных шинах 110 кВ возникает при ТСКЗ по причине наибольшей электрической приближенности. Большая просадка напряжения возникает при ТСКЗ на секциях шин ПС Василеостровская, так как данная подстанция осуществляет связь с энергосистемой и через неё проходят большие мощности. Во втором, третьем и четвертом вариантах наблюдается большая просадка напряжений, при ТСКЗ на ПС 14 из-за того, что она осуществляет связь узла с источником распределенной энергии.

Литература

1. Игуменцев В.А., Малафеев А.В., Буланова О.В. и др. Комплекс автоматизированного режимного анализа Катран 7.0 // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2013610067.
2. Буланова О.В., Игуменцев В.А., Малафеев А.В. и др. Расчет динамических характеристик синхронных и асинхронных двигателей промышленных предприятий с целью анализа устойчивости систем электроснабжения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2006. № 2 (14). С. 71–75.
3. Ротанова Ю.Н. Повышение устойчивости системы электроснабжения промышленного предприятия с собственными электростанциями

при коротких замыканиях // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2008.

4. Заславец Б.И., Игуменцев В.А., Малафеев А.В. и др. Представление машин переменного тока в расчетах динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2008. № 11 (111). С. 3–8.

5. Малафеев А.В., Карандаева О.И., Ротанова Ю.Н. и др. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» // Электротехнические системы и комплексы, 2009. № 17. С. 96–104.

6. Заславец Б.И., Игуменцев В.А., Николаев Н.А. и др. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями в режимах выхода на раздельную работу после короткого замыкания // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2009. № 1. С. 60–65.

7. Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Способ представления асинхронных двигателей при расчете переходных режимов короткого замыкания с целью анализа влияния тока подпитки на динамическую устойчивость // Вести высших учебных заведений Черноморья, 2008. № 3 (13). С. 43–45.

8. Николаев Н.А., Буланова О.В., Малафеев А.В. и др. Оценка регулирующего эффекта выпрямительной нагрузки для определения параметров установившихся режимов систем электроснабжения промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2011. № 4. С. 115–118.

9. Газизова О.В., Малафеев А.В., Кондрашова Ю.Н. Определение предельных параметров режимов для обеспечения успешной ресинхронизации объектов распределенной генерации в условиях предприятия черной металлургии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2016. Т.16. № 4. С. 12–22.

10. Малафеев А.В., Буланова О.В., Кондрашова Ю.Н. Исследование влияния автоматических регуляторов промышленных генераторов на параметры переходных процессов коротких замыканий и выхода на раздельную работу // Главный энергетик, 2011. № 3. С. 26–29.

11. Буланова О.В. Управление режимами промышленных электростанций при выходе на раздельную работу // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Магнитогорск, 2007.

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РЕЖИМНОГО ТРЕНАЖЁРА ДИСПЕТЧЕРА

Лукуц Иван Алексеевич, Минх Александра Вадимовна, Щербакowa Наталья Сергеевна,
Толстикина Лилия Викторовна
ФГБОУ ВО «Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета»,
г. Саяногорск, рп. Черемушки
a-minkh@mail.ru

Профессиональные тренажёры практически не адаптированы под образовательный процесс. В Саяно-Шушенском филиале СФУ ведётся разработка режимного тренажёра диспетчера (РТД) с применением языка программирования Delphi, а также разрабатывается полный интерфейс программы. На базе данного тренажёра реализуется цикл лабораторных работ по дисциплинам электротехнического профиля, приближенных к производственным условиям.

Ключевые слова: тренажёр, моделирование, программирование, электрическая схема, код, симуляция, комплекс.

DEVELOPMENT OF THE USER INTERFACE OF THE SOFTWARE COMPLEX OF THE MODE SIMULATOR OF THE DISPATCHER

Lukuts Ivan Alekseevich, Minh Alexandra Vadimovna,
Shcherbakova Natalia Sergeevna, Tolstikhina Lilia Viktorovna

Engineering simulators are practically not adapted to the training process. The operator training simulator with using the Delphi programming language is developed. The complete program interface is considered. On the basis of this simulator, a cycle of laboratory works close to operation process is implemented.

Keywords: training simulator, computer modeling, programming language, electrical circuit, code, simulation, complex.

Роль и ответственность диспетчеров электроэнергетического предприятия крайне высока, что выдвигает высокие требования к квалификации диспетчерского персонала [1]. Профессиональные тренажёры не интегрированы в образовательный процесс, поэтому их эксплуатация при подготовке будущих электроэнергетиков не даёт эффективных результатов. Ведётся разработка РТД с применением языка Delphi [2]. Данный тренажёр должен повысить эффективность учебного процесса, т.к. заданные условия тренировок приближены к производственным. Программный комплекс РТД – это учебное средство, позволяющее создавать благоприятные условия для формирования трудовых умений, навыков и даёт возможность ускорить время подготовки специалистов

высокого уровня [3]. Была смоделирована главная электрическая схема электрической станции (рис. 1).



Рис. 1. Главная электрическая схема электрической станции

Были созданы командные кнопки, используемые для реализации переключений в программе с помощью обработчика события On Click этого компонента (рис. 2–3).



Рис. 2. Включение элемента OP 220 Л1

Рядом с кнопками расположен индикатор состояния элемента. Зеленым цветом подсвечивается индикатор элемента, который отключен и готов к работе; красным цветом – элемент, находящийся в работе.

При нажатии на переключатель правой кнопкой мыши всплывает окно с предложением «Проверить состояние» (рис. 4), «Повесить/снять плакат» «Не включать, работают люди», «Не включать, работа на линии», «Работать здесь» и т. п. (рис. 5). Создана строка состояния: параметров,

с которым работает пользователь, подсказок к пунктам меню при наведении на них мышкой или элементов схемы, а также повтор произведенных операций и отображения состояния элемента и др. Подсказки так же отображаются рядом с курсором мыши, дублируя информацию из строки состояния.



Рис. 3. Отключение элемента OP 220 Л1



Рис. 4. Проверка состояния элемента OP 220 Л1



Рис. 5. Вывешивание плаката на элемент ЗНТ OP 220 T1

Для удобства в использовании и обучении было создано контекстное меню, содержащее вкладки «Файл» (рис. 6), «Редактировать», «Сервис» и «Справка». Для упрощения работы некоторым пунктам меню назначены комбинации клавиш, чтобы выполнять команды, не открывая меню. Они ускоряют работу с приложением. Названия комбинаций клавиш отображаются справа от текста соответствующих пунктов. Например, команде меню Файл | Открыть назначается комбинация клавиш Ctrl+O и т. д.

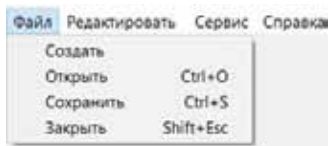


Рис. 6. Контекстное меню, вкладка файл

Было создано окно авторизации для ввода логина и пароля пользователя, под которыми студент заходит в тренажёр. Для того, чтобы перейти к авторизации была разработана организация взаимодействия форм. В программном коде к командной кнопке «Войти» прописывается база данных логинов и паролей участников. Если пароль введен не корректно/ошибочно или отсутствует в перечне прописанных, программный комплекс не допустит студента к выполнению работы (рис. 7).

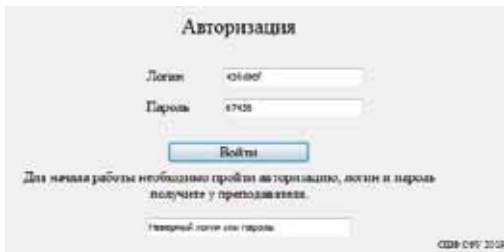


Рис. 7. Окно авторизации с информацией о неверно введённом логине и пароле

При разработке режимного тренажёра был введён термин «Согласованная последовательность» для создания условий проработки сценариев программы [4]. Согласованная последовательность – это алгоритм, необходимый для выполнения типовых переключений. В соответствии с адаптированным бланком [5] (таблица 1) по выводу

в ремонт трансформатора создадим ряд условий для блокировки ошибочных действий.

Таблица 1

Вывод в ремонт трансформатора

| | |
|----|---|
| 1 | Отключаем выключатель В 220 Г1 с низкой стороны трансформатора |
| 2 | Вывешиваем плакат «Не включать, работают люди» на В 220 Г1 |
| 3 | Отключаем выключатель В 220 Т1 с высокой стороны трансформатора |
| 4 | Вывешиваем табличку «Не включать, работают люди» на В 220 Т1 |
| 5 | Отключаем разъединитель ТР 220 Т1 |
| 6 | Вывешиваем табличку «Не включать, работают люди» на ТР 220 Т1 |
| 7 | Проверяем нагрузку на трансформаторе |
| 8 | Включаем заземляющие ножи ЗНТ ОР 220 Т1 и ЗНТ ТР 220 Т1 |
| 9 | Включаем переносное заземление с низкой стороны трансформатора |
| 10 | Вывешиваем табличку на трансформатор «Работать здесь» |

В программе реализуем согласованную последовательность в виде блокирования элементов (рис. 8.), если их переключения зависят от условий алгоритма переключений. Алгоритм и код, описывающий порядок действий по выводу в ремонт трансформатора представлены на (рис. 9).



Рис. 8. Блокирование элементов

Для проведения тренировок в тренажёре встроен таймер с обратным отсчётом заданного значения в минутах, в правом углу экрана (рис. 10).

Перед началом выполнения работ во вкладке «Средства защиты» выбирается необходимая для данной работы специальная одежда и инструменты (рис. 11).

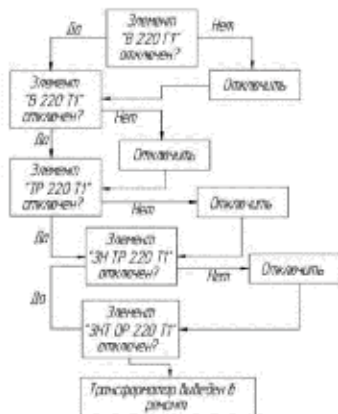


Рис. 9. Алгоритм последовательности переключений для вывода в ремонт трансформатора

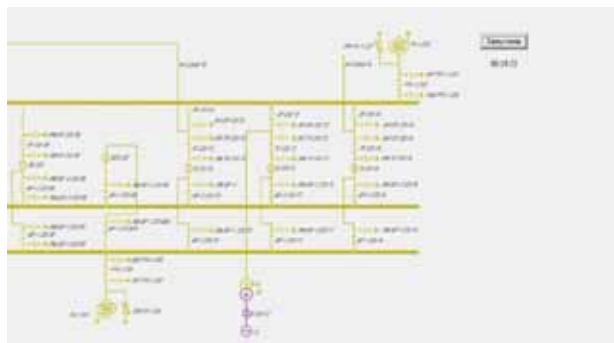


Рис. 10. Обратный отсчёт времени



Рис. 11. Выбор средств защиты

Выводы:

1. Разработаны алгоритм и коды блокировки по предотвращению неверных оперативных переключений, разработана авторизация для входа в программу.
2. Разработаны пользовательский интерфейс учебно-тренировочного комплекса, разработано контекстное меню для удобства в использовании и обучении.
3. Разработан таймер и вкладка с выбором спецодежды, и инструментами, для проведения тренировок в тренажёре.

Литература

1. Тянь Р.Л., Будовский В.П. Особенности режимных тренажёров диспетчера энергосистем, разработанных в России, Европе и США // Энергетик, 2013. № 9. С. 47–51.
2. Толстихина Л.В., Волков И.Д. Моделирование электроэнергетической системы в режимном тренажёре диспетчера // Электроэнергетика глазами молодежи-2019: материалы юбилейной X Междунар. науч. техн. конф. (Иркутск, 16-20 сентября 2019 г.); в 3 т. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2019. Т. 1. С. 267–271.
3. Будовский В.П., Несифорова Т.В., Рожков А.С. и др. Тренажёрный комплекс по оперативным переключениям TWR12 // Энергопрогресс, 2014. № 6. С. 42–49.
4. Гайсаров Р.В., Акулов П.А., Кондратьев Е.В. и др. Оперативные переключения // Энергетика, 2013. № 6. С. 47–48.
5. Инструкция по производству оперативных переключений в электроустановках ЕЭС России в операционной зоне филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири (ОДУ-5), (3075.3.22.011-100.21/12.2018), введена в действие 28.12.2018.

УДК 621.311

ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Мицкевич Роман Викторович, Рубан Николай Юрьевич
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск, Россия
RVM10@tpu.ru, rubanny@tpu.ru

В данной статье описывается опыт создания модели действия автоматической частотной разгрузки в энергосистеме с возобновляемыми источниками энергии, в среде

Matlab Simulink. Рассмотрены необходимые блоки Matlab Simulink для создания модели и проведены опыты проверки правильной работы модели энергосистемы и автоматики.

Ключевые слова: частота, автоматическая частотная разгрузка, энергосистема, возобновляемые источники энергии, ветряная электростанция, моделирование, автоматика, сила ветра.

FORMATION OF A COMPUTATIONAL MODEL OF THE OPERATION OF THE UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING IN THE POWER SYSTEM

Mitskevich Roman Viktorovich, Ruban Nikolay Yurievich

This article describes the experience of creating a model of the action of under frequency load shedding in a power system with renewable energy sources, in the Matlab Simulink. The necessary blocks of Matlab Simulink for creating a model were considered and experiments were carried out to verify the correct operation of the power system and automation model.

Keywords: Frequency, Automatic frequency load shedding, power system, renewable energy sources, wind farm, modeling, automation, wind power.

В настоящее время использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистеме становится все более популярным, ввиду их относительных экономических и экологических преимуществ по сравнению с другими источниками энергии. Однако, из-за невозможности получения постоянной мощности и неустойчивого поведения объектов ВИЭ возникают проблемы поддержания баланса генерируемой и потребляемой мощности в энергосистеме. Поэтому проблема регулирования частоты сети осложняется при увеличении проникновения объектов ВИЭ в энергосистему [3].

В силу высокой скорости протекания процессов снижения частоты при резком возникновении дефицита мощности дежурный персонал не имеет возможности оперативно среагировать и принять надлежащие меры в первые моменты времени. Таким образом для предотвращения развития аварийных ситуаций в энергосистеме используются устройства автоматики регулирования частоты и перетоков активной мощности и ограничения снижения частоты [1].

1. Описание расчетной модели Matlab Simulink

Для создания расчетной модели были использованы стандартные блоки Matlab, simulink Sim PowerSystems [2].

В качестве моделей генераторов был использован блок Synchronous Machine модели синхронной машины с параметрами, заданными в относительных единицах. Регулирование блока осуществляется изменением величины механической мощности, подаваемой на вход.

Для обеспечения первичного регулирования частоты и мощности был использован блок Steam Turbine and Governor модели паровой и турбины со встроенным регулятором, который представляет собой тандемный паровой двигатель, включающий систему регулирования скорости, четырехступенчатую паровую турбину.

Для поддержания устойчивости системы были использованы в связке блок Excitation System модели системы возбуждения и блок Generic Power System Stabilizer модели универсального стабилизатора энергосистемы. Данные блоки используются для регулирования системы возбуждения и улучшения демпфирующих свойств ротора синхронной машины путем форсировки возбуждения.

Силовые выключатели представлены блоками Three-Phase Breaker с управляемым входом. Нагрузка представлена блоками Three phase parallel rlc load, моделирующими активно-индуктивную нагрузку сети.

Возобновляемые источники энергии представлены моделью эквивалентной ветряной электростанции из 10 ветряных турбин суммарной максимальной мощностью 20 МВт. Модель ветряной турбины выполнена на базе эквивалентной синхронной машины с DC-DC преобразователями и системой управления.

Для связи двух систем на повышенном напряжении был использован блок Threephase Transformer трехфазного двухобмоточного трансформатора.

Внешний вид модели энергосистемы и вспомогательные системы представлены на рисунке 1.

Функции автоматики частотной разгрузки (АЧР) выполняет модель АЧР условно представленный тремя ступенями АЧР1 и одной ступенью АЧР2. Модель выполнена на базе блоков S-R Flip-Flop моделей RS триггеров, блоков сравнения Relational Operator, и блоков выдержки времени Delay. При снижении частоты сети ниже заданной уставки блок сравнения подает логический сигнал на RS триггер, который меняет положение на выходе на логический ноль, в результате чего после выдержки времени, логический ноль поступит на блок выключателя и цепь нагрузки будет отключена.

2. Анализ работы модели энергосистемы и противоаварийной автоматики при возмущающих воздействиях

Для проверки правильной работы модели энергосистемы и действия автоматики были смоделированы возмущающие воздействия, нарушающие баланс активной мощности в энергосистеме, такие как включение дополнительных нагрузок Load 4 – Load 6 суммарной мощностью 30 МВт, а также снижение скорости ветра на 2 м/с, в результате чего мощность ВЭС снижается на 6 МВт.

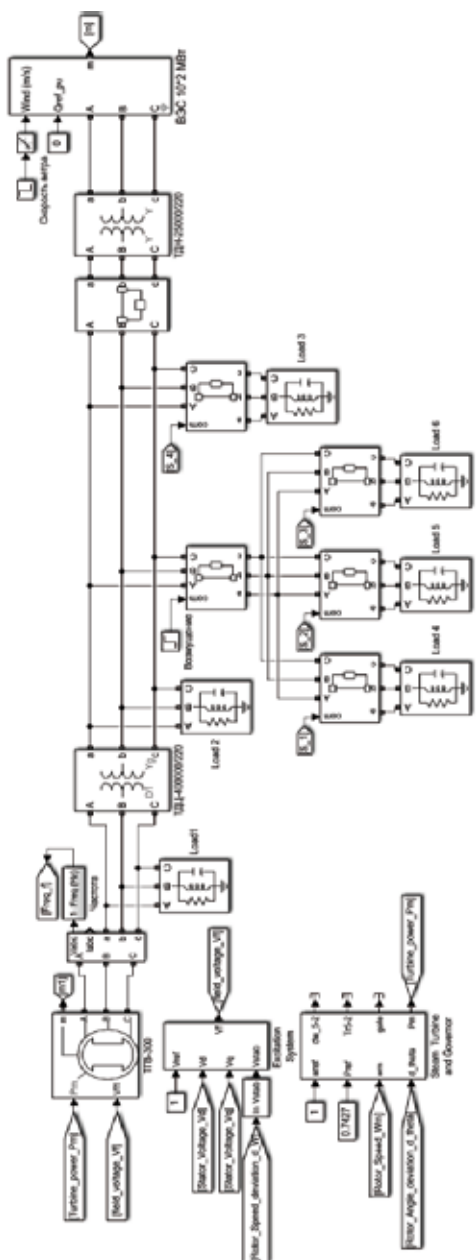


Рис. 1. Модель энергосистемы с возобновляемыми источниками энергии

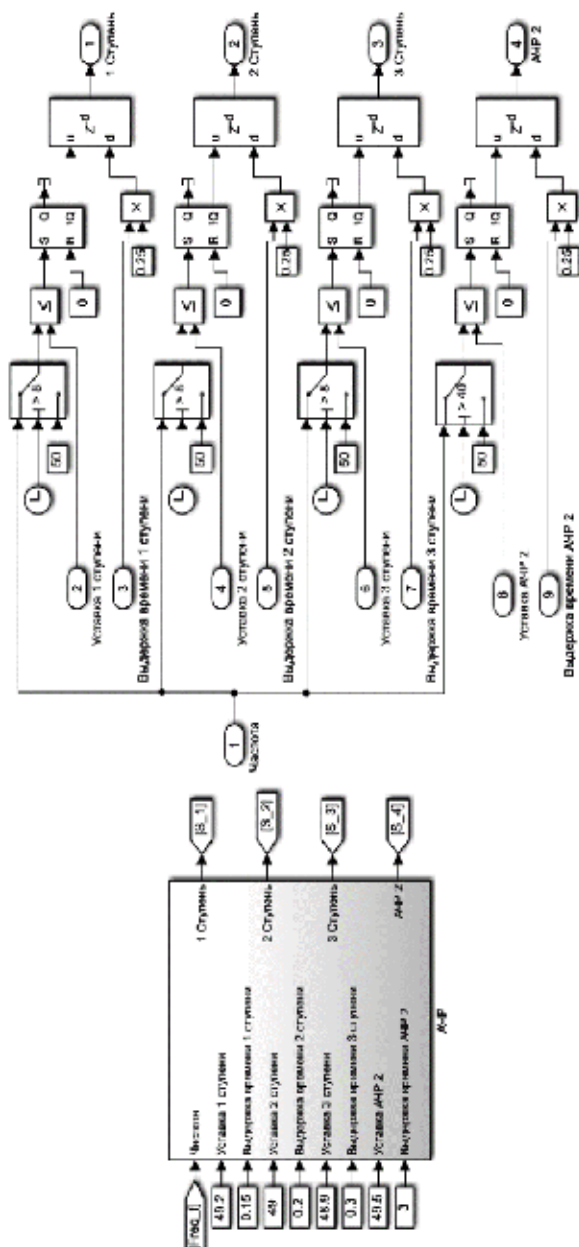


Рис. 2. Блок модели противоаварийной автоматики и его структура

1) В моменты времени 0–20 с. происходит включение в работу энергосистемы и уравнивание режимных параметров до номинальных.

2) В моменты времени 20–40 с. происходит включение дополнительной нагрузки, в результате чего нарушается баланс активной мощности, и частота начинает снижаться. При снижении частоты ниже уставок АЧР1, срабатывают логические элементы трех ступеней и после выдержки времени отключают дополнительную нагрузку Load 4 – Load 6. Баланс активной мощности восстанавливается и под действием регуляторов частота сети повышается.

3) В моменты времени 40–100 с. происходит снижение скорости ветра, выдаваемая мощность ВЭС уменьшается, и частота сети снижается ниже значения уставки АЧР2, в результате после выдержки времени отключается нагрузка Load 3 и под действием регуляторов частота сети повышается и устанавливается на стандартном значении $50,0 \pm 0,2$ Гц [1].

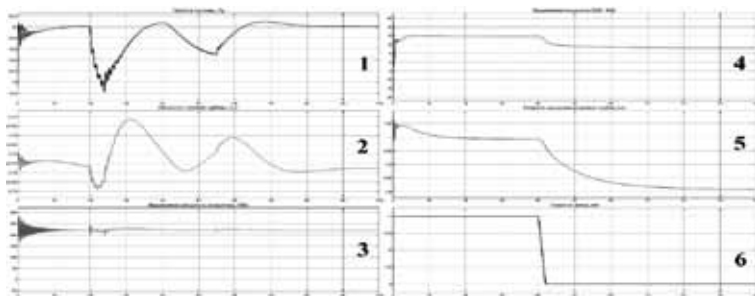


Рис. 3. Результаты моделирования работы энергосистемы при возникновении возмущающих воздействий и действующей автоматикой:

1 – частота сети, Гц; 2 – мощность паровой турбины, о.е.; 3 – выдаваемая мощность генератора ТЭС, МВт; 4 – выдаваемая мощность ВЭС, МВт; 5 – скорость вращения турбин ВЭС, о.е.; 6 – скорость ветра, м/с

Результаты проведенного опыта свидетельствуют о правильной работе модели, а также влиянии объектов ВИЭ на протекание переходных процессов в энергосистеме. Данный факт должен быть учтен при проектировании систем защит и автоматики энергосистем.

Результаты создания расчетной модели позволят произвести дальнейшие исследования по изучению влияния объектов ВИЭ на обеспечение баланса мощности в энергосистеме и на действие противоаварийной автоматики.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4.

Литература

1. Непша Ф.С., Глушкова А.И., Воробьева Д.Ю. К вопросу обеспечения правильной работы устройств автоматической частотной разгрузки в кузбасской энергосистеме // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017; 19 (9-10): 77-84. Доступно по: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-9-10-77-84>.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Sim Power Systems и Simulink. М.: ДМКПресс; СПб.: Питер, 2011. 288 с.: ил.
3. Bevrani H. And Ghosh A. and Ledwich G. 2010. Renewable energy sources and frequency regulation: Survey and new perspectives. IET Renewable Power Generation. 4 (5): pp. 438–457, 2010.

УДК 621.316.925.2

АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

Новокрещенов Виталий Викторович, Иванов Игорь Юрьевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
novokreshchenov.vv@kgeu.ru, igorivanov85@list.ru

В тезисе предложен алгоритм для комплекта цифрового терминала релейной защиты позволяющего защищать линию электропередачи с любой степенью продольной компенсации.

Ключевые слова: Активно-адаптивная сеть, дифференциальная релейная защита, алгоритм, линия электропередачи, продольная компенсация.

ALGORITHM FOR PROTECTION OF A HIGH-VOLTAGE POWER TRANSMISSION LINE WITH LONGITUDINAL COMPENSATION

Novokreshchenov Vitaly Viktorovich, Ivanov Igor Yurevich

The thesis proposes an algorithm for a set of digital relay protection terminal that allows protecting a power line with any degree of longitudinal compensation.

Keywords: FACTS, differential relay protection, algorithm, power line, longitudinal compensation.

На сегодняшний день для увеличения пропускной способности линий электропередачи в электроэнергетике используются следующие способы увеличения пропускной способности:

1. За счёт повышения напряжения.

2. За счёт увеличения сечения провода.
3. За счёт использования постоянного тока вместо переменного.
4. Путём уменьшения индуктивного сопротивления:
 - 4.1. За счёт расщепления проводов.
 - 4.2. За счёт компенсации реактивного сопротивления.

Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. В контексте релейной защиты и автоматики уменьшение индуктивного сопротивления путём компенсации реактивного сопротивления приводит к неправильной работе устройств РЗА. Это вызвано тем, что в аварийных режимах на ЛЭП с продольной компенсацией наблюдаются следующие явления:

1. Инверсия тока.
2. Инверсия напряжения.
3. Низкочастотные колебания после отключения короткого замыкания и т. д.

Все эти явления начинают наиболее ярко проявляться при коэффициенте компенсации реактивного сопротивления более 50 % и приводят к неправильной работе всех известных типов релейных защит. Поэтому в настоящий момент компенсация реактивного сопротивления линий составляет не более 50 процентов.

Для решения указанной проблемы был разработан алгоритм, позволяющий защищать линию электропередачи со степенью компенсации продольного сопротивления более 50 %. Суть алгоритма сводится к тому, что устройство релейной защиты, в котором будет функционировать данный алгоритм, разбивается на два полукомплекта, устанавливаемых на разных концах линии. В основе защитного алгоритма лежит принцип дифференциальной релейной защиты, но для сравнения используются не полные токи линии, а действующие значения активных токов. Для предотвращения ложных срабатываний используется блокировка по знаку активного тока.

Вышеописанный алгоритм проверялся в программе PSCAD. Для этого в программной среде PSCAD была сконструирована модель электрической сети, схема замещения которой показана на рис. 1. Она состоит: из двух подстанций – подстанция 1, подстанция 2; двух электроэнергетических систем: система 1, система 2; четырёх одинаковых отрезков линии электропередач, устройства продольной компенсации C . Каждая система представлена идеальным источником трёхфазного напряжения с последовательно подключённым активным сопротивлением (0,01 Ом). Отрезки линии электропередачи представляют собой П-образную схему замещения с взаимными ёмкостными связями между проводами (см. рис. 2

и таблицу 1). Длина каждой секции 50 км. В качестве устройства продольной компенсации использовался идеальный конденсатор. Подстанция 1 и подстанция 2 в данной модели являются своего рода границей раздела, отделяющей ЛЭП от системы. В данной модели подстанции не содержат коммутационной аппаратуры т.к. она в исследовании не используется. Для измерения токов и напряжения для нужд релейной защиты на подстанциях размещены идеальные амперметры и вольтметры. Сопротивление короткого замыкания между фазой и землёй в точках $K1$ - $K4$ имело чисто активный характер и принималось равным 0,01 Ом.



Рис. 1. Схема замещения линии с продольной компенсацией, соединяющей две электроэнергетические системы

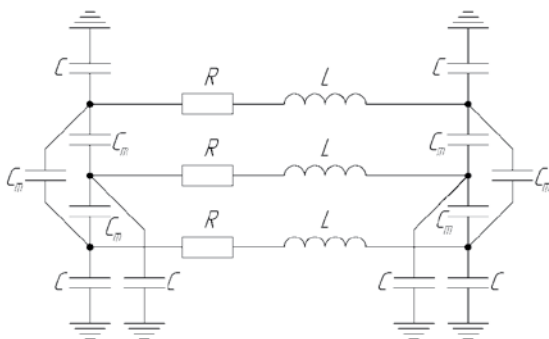


Рис. 2. Схема замещения линии электропередачи

Как показали исследования, предложенный алгоритм хорошо зарекомендовал себя при трёхфазных и однофазных коротких замыканиях. При двухфазных и двухфазных замыканиях на землю алгоритм срабатывает только в самый начальный момент КЗ, т. е. во время переходного процесса. В связи с этим в дальнейшем планируется последующие исследования с целью доработки алгоритма в отношении его поведения при двухфазных коротких замыканиях и двухфазных коротких замыканиях на землю.

Таблица 1

Перечень элементов используемых в схеме замещения и их технические характеристики

| Обозначение в схеме | Наименование | Технические данные |
|---------------------|---|---|
| R | Активное сопротивление провода | Прямая последовательность: $0,1781598 \times 10^{-4}$ Ом/м. Нулевая последовательность: $0,2952201 \times 10^{-3}$ Ом/м. |
| L | Индуктивное сопротивление провода | Прямая последовательность: $0,31388 \times 10^{-3}$ Ом/м. Нулевая последовательность: $0,1039898 \times 10^{-2}$ Ом/м. |
| C | Емкостное сопротивление между проводом и землёй | 414,1642 МОм/м |
| C_m | Емкостное сопротивление между проводами | 273,5448 МОм/м |

Литература

1. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Проблемы энергетики, 2019. Т. 21, № 4. С. 66–76.

2. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В. Исследование функциональных возможностей систем релейной защиты и автоматики для применения их в интеллектуальных энергосистемах с активно-адаптивной сетью // Материалы IV Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве». Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. Т. 1. С. 138–140.

3. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Семенова О.Д. Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2019. С. 12–17.

5. Вагапова Н.А., Вагапов Г.В., Сидоров А.Е. и др. Управление эффективностью в электроэнергетике: инновационные подходы // Вестник экономики управления и права, 2015. № 3. С. 186.

6. Федотов А.И., Ахметвалеева Л.В., Басыров Р.Ш. и др. Нормирование амплитуды высших гармоник при определении фидера с однофазным замыканием на землю // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. С. 58–68.

УДК 621.316.925.1

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ АВТОТРАНСФОРМАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB

Панова Евгения Александровна, Насибуллин Артем Тахирович
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия
ea.panova@magtu.ru, nasibyllin91@gmail.com

В программном комплексе MATLAB разработана математическая модель дифференциальной защиты автотрансформатора. Первая ступень защиты срабатывает при превышении уставки дифференциальным током. Во второй ступени по значениям дифференциальных и тормозных токов определяется положение рабочей точки на тормозной характеристики. Если величина дифференциального тока находится в области срабатывания, на выходе формируется сигнал на отключение выключателей. Если сигнал не блокируется элементом запрета, то автотрансформатор отключается. Проведены эксперименты по моделированию различных видов короткого замыкания.

Ключевые слова: дифференциальная защита, автотрансформатор, реле, MATLAB, математическая модель, релейная защита.

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF DIFFERENTIAL PROTECTION OF THE AUTOTRANSFORMER IN THE MATLAB

Panova Evgeniya Aleksandrovna, Nasibulin Artem Takhirovich

A mathematical model of differential protection of an autotransformer developed in the MATLAB software package. The first stage of protection triggered when the differential current exceeds the setting. In the second stage, the position of the operating point on the braking characteristic determined by the values of the differential and braking currents. If the value of the differential current is in the tripping range, the output generates a signal to open the circuit breakers. If the signal is not block by the inhibiting element, then the autotransformer is disabled. Experiments carried out to simulate various types of short circuit.

Keywords: differential protection, autotransformer, relay, MATLAB, mathematical model, relay protection.

В настоящее время релейная защита представляет собой сложные интегрированные микропроцессорные системы защиты, управления

и контроля. Математическое моделирование позволят определить, как изменится селективность и чувствительность защиты при изменении режимов работы системы электроснабжения.

Применение математической модели позволяет достичь не только точности вычислений параметров системы энергоснабжения в различных режимах работы, но и способствует построению адаптивных алгоритмов работы устройств релейной защиты на базе нейронной сети.

Для оценки надежности и функциональной точности модели проведена серия экспериментов при различных аварийных режимах работы энергосистемы. Представлены результаты этих испытаний и характеристики в установившемся режиме.

Схема выполнена на основе математических блоков Sim Power Systems и Simulink, позволяющих построить логику работы.

В дифференциальной защите автотрансформатора смоделированы трехфазные цепи энергетических систем; автотрансформатор, выключатели, нагрузки, а также трехфазные измерители напряжения и тока. В рамках данной статьи описана дифференциальная защита трехобмоточного автотрансформатора. Упрощенная схема электрической системы и дифференциальная релейная защита автотрансформатора в среде MATLAB представлены на рисунке 1. Для дифференциальной защиты характерна избирательность действия, которая обеспечивает защиту между вводом высокого напряжения, до силового трансформатора и на вводе отходящей линии низшего напряжения, после силового трансформатора. Отличием дифференциальной релейной защиты автотрансформатора от других релейных защит является наличие фазного смещения токов. В спроектированной модели есть возможность ручного задания параметра компенсации фазового смещения. Дифференциальная защита имеет две ступени: 1 – дифференциальная токовая отсечка; 2 – дифференциальная токовая защита с торможением и отстройкой от бросков тока намагничивания. С мультиметра токовый сигнал поступает на определитель дифференциального (рис. 2) и тормозного токов (рис. 3). Полученные значения учитываются обеими ступенями защит. В первой ступени сравнивается действующее значение первой гармоники дифференциального тока с заданной вручную уставкой [2].

Вторая ступень предназначена для защиты трехобмоточного трансформатора как от повреждений, сопровождающихся большими значениями токов, так и от межвитковых замыканий, при которых значение аварийного тока меньше номинального.

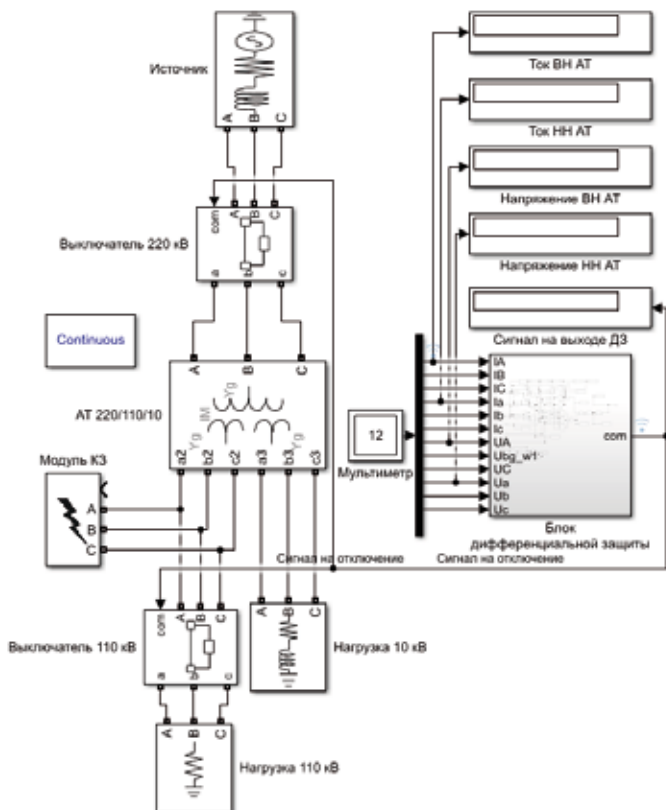


Рис. 1. Упрощенная схема электрической сети и дифференциальной защиты

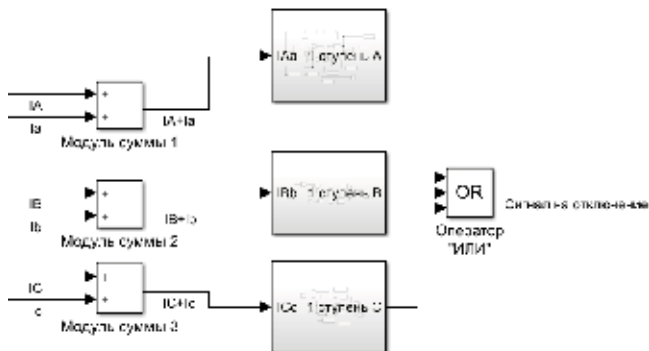


Рис. 2. Вычисление дифференциального тока

На рис. 2 вычисленные вторичные токи со сторон ВН и НН складываются в сумматоре. На выходе формируется сигнал с дифференциальным током.

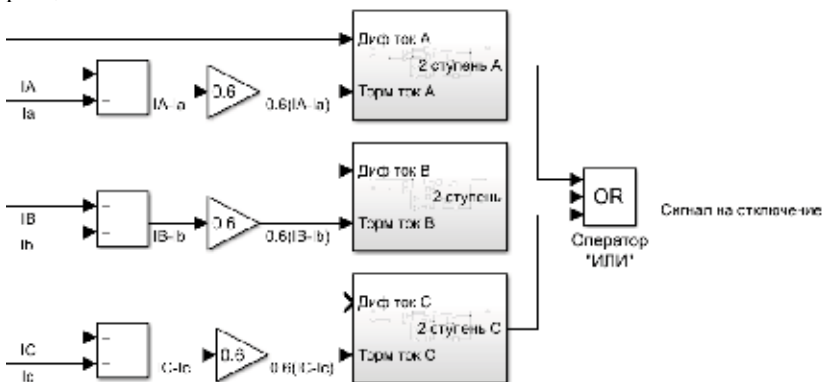


Рис. 3. Вычисление тормозного тока

На рис. 3 показана вычисление тормозного тока. Вторичный ток со стороны НН вычитается из тока ВН. Полученный тормозной ток поступает на усилитель.

В случае превышения дифференциальным током значения уставки первой ступени защиты на выходе появляется сигнал логической единицы, который поступает на логический элемент «ИЛИ» (рис. 2). Внутренняя схема первой ступени состоит из элементов, реализующих функции основных органов релейной защиты. Первая ступень защиты реагирует на мгновенное значение дифференциального тока и на первую гармонику этого же тока. Она предназначена для быстрого отключения повреждений, сопровождающихся большим дифференциальным током. Она работает без каких-либо блокировок и не имеет торможения [3].

Срабатывание дифференциальной отсечки по первой гармонике происходит по истечении выдержки времени, задаваемой временной переменной.

Во второй ступени по значениям дифференциальных и тормозных токов определяется положение рабочей точки на тормозной характеристике релейной защиты. Если величина дифференциального тока находится в области срабатывания, на выходе формируется сигнал на отключение. Если сигнал не блокируется элементом запрета, то автотрансформатор отключается. Блокировка действия защиты по второй гармонике при броске тока намагничивания основывается на контроле

отношения действующего значения второй гармоники к действующему значению первой гармоники дифференциального тока [4].

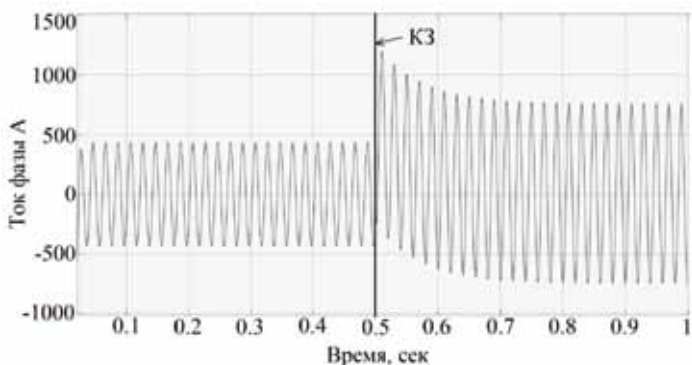


Рис.5. При внешнем коротком замыкании в момент времени 0,5 сек.

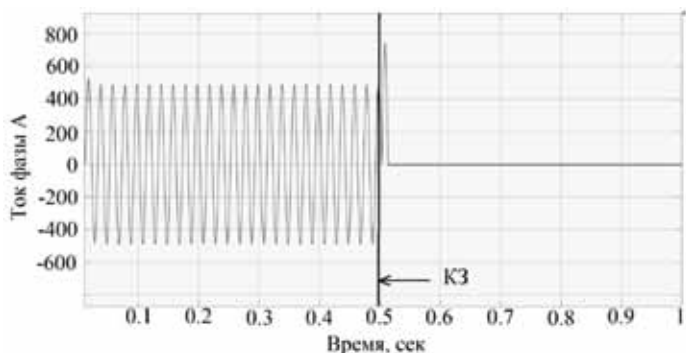


Рис.6. При внутреннем коротком замыкании

При обнаружении нарушения нормальных режимов работы электроэнергетической системы происходит срабатывание исследуемой защиты, которое можно зафиксировать появлением сигнала «1» на выходе блока дифференциальной защиты. Момент срабатывания защиты фиксируется на осциллограммах тока на ВН автотрансформатора. Осциллограмма тока фазы А автотрансформатора при внешнем коротком замыкании на стороне нагрузки 110 кВ представлена на рисунке 5. Осциллограмма при внутреннем коротком замыкании на автотрансформаторе представлена на рисунке 6. Начальный интервал времени графиков соответствует нормальному режиму работы сети, в момент времени 0,5 секунд происходит возникновение аварийного режима

и отключение выключателей при коротком замыкании в зоне действия защиты. Разработанная модель позволяет исследовать дифференциальные защиты трансформаторов с торможением, реагирующих на мгновенное значение токов и на первую гармонику.

Литература

1. Насибуллин А.Т., Панова Е.А. Применение адаптивной релейной защиты для повышения энергоэффективности работы металлургического предприятия // Энергетики и металлурги настоящему и будущему России. Материалы 17-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов. Под общей редакцией Е.Б. Агапитова, 2016. С. 21–23

2. Насибуллин А.Т., Панова Е.А., Павлова А.И. Разработка алгоритма работы адаптивной релейной защиты автотрансформатора узловой подстанции системы промышленного электроснабжения // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике. Материалы докладов IX открытой молодежной научно-практической конференции, 2015. С. 335–339.

3. Panova E.A., Nasibyllin A.T. Development and testing of the adequacy of the 220/110 kV distribution substation MATLAB SIMULINK mathematical model for relay protection calculations // Proceedings - 2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research and Practice, PEAMI 2019. 2018. PP. 134–138.

4. Panova E.A., Nasibyllin A.T. Development of algorithm for adaptive relay protection of autotransformer of substation hub industrial supply // Proceedings - 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018. 2018.

УДК 621.3.078

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Рожков Вячеслав Владимирович, Федотов Владимир Владимирович,
Трофименко Семен Романович
Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске, Россия
umo@sbmpei.ru, FedotovVladimirV@yandex.ru, trofimenko.s.r@mail.ru

В настоящей статье предлагается один из вариантов энергоэффективной модернизации пневматического промышленного робота. Практическая реализация предлагаемого решения осуществлена на трех лабораторных установках в лаборатории

промышленных роботов кафедры «Электромеханические системы» филиала НИУ МЭИ в г. Смоленске. Для достижения энергетической эффективности пневматического промышленного робота был спроектирован источник питания для системы управления промышленным роботом. Источник питания, мощность которого обеспечена примерно на порядок меньше применявшегося в прошлой реализации системы управления, дополнен функцией плавного пуска, исключающей бросок тока при первом включении. Проанализирована возможность рекуперации сжатого воздуха обратно в пневмосеть. В статье кратко описаны методы модернизации, технико-экономическое обоснование предлагаемого варианта. Рассчитаны необходимые затраты на материалы и комплектующие.

Ключевые слова: пневмопривод промышленных роботов, цифровые контроллеры, импульсный источник питания, модернизация источника питания, функция плавного пуска, рекуперация сжатого воздуха.

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT COMPLEX FOR CONTROL OF PNEUMATIC INDUSTRIAL ROBOTS

Rozhkov Vyacheslav Vladimirovich, Fedotov Vladimir Vladimirovich,
Trofimenko Semyon Romanovich

This article proposes one of the options for energy-efficient modernization of a pneumatic industrial robot. The practical implementation of the proposed solution was carried out on three laboratory installations in the laboratory of industrial robots of the Department of Electromechanical Systems of the branch of the NRU MPEI in Smolensk. To achieve the energy efficiency of the pneumatic industrial robot, the power supply for the industrial robot control system has been designed. The power supply, the power of which is provided by about an order of magnitude less than that used in the previous implementation of the control system, is supplemented with a soft start function, which excludes an inrush current when it is first turned on. The possibility of compressed air recuperation back to the pneumatic network is analyzed. The article briefly describes the methods of modernization, the feasibility study of the proposed option. The necessary costs for materials and components have been calculated.

Keywords: pneumatic drive of industrial robots, digital controllers, switching power supply, modernization of the power supply, soft start function, compressed air recuperation.

Современные промышленные производства нуждаются в использовании промышленных роботов из-за физической или технологической сложности производственных процессов, но стоимость нового робототехнического оборудования очень велика.

В позднесоветские времена было произведено большое количество промышленных роботов, оснащенных пневмоприводами и первыми поколениями контроллеров управления. Такие комплексы на сегодняшний день функционируют не в полной мере. Главной проблемой эксплуатации данных роботов является сложность управления. Массогабаритные показатели аналоговой системы управления неудовлетворительны. В связи с этим задача модернизации электропневмомеханических систем промыш-

ленных роботов является актуальной. Помимо замены устаревшей системы управления на цифровую целесообразно придать системе новые энергоэффективные свойства причем с использованием относительно небольших финансовых затрат [1], [2].

В качестве примера объекта для подобной модернизации выбран промышленный робот с пятью степенями подвижности типа ЦПР-1П(2П), изображенный на рис. 1.

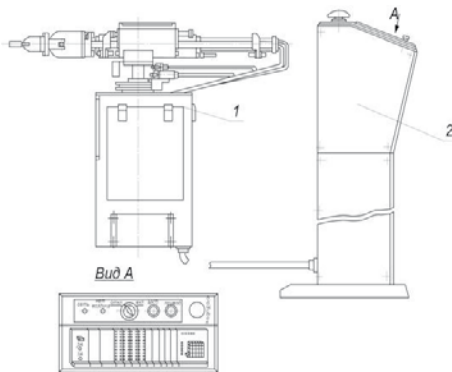


Рис. 1. Промышленный робот ЦПР-1П(2П)

Высокоточная механика для реализации кинематических пар и степеней подвижности робота остается актуальной и по сей день. Устаревшая же система аналогового управления, источник питания и силовая пневматическая сеть могут быть модернизированы различными техническими решениями.

Как уже говорилось выше, основная задача заключается в достижении энергоэффективности готового устройства. Поэтому для обеспечения рационального использования рабочего тела (воздух) пневматической сети была организована возможность рекуперации сжатого воздуха обратно в пневмосеть. На рис. 2 показано схематически реализация данной идеи.

Усовершенствованная пневмосхема привода позволяет рекуперировать до 40 % энергии при действии активного момента нагрузки и работе робота по вертикальной степени подвижности (опускании груза) в элемент пневмосхемы – ресивер.

Аналоговая система управления подвергается кардинальной модернизации – замене на современную программируемый логический

контроллер (ПЛК). Для этих целей использован ПЛК, к которому на входы подключались индуктивные датчики, а к их выходам, в свою очередь, электропневмораспределители. На рис. 3 изображена схема подключения программируемого логического контроллера (ПЛК). Использование ПЛК упрощен процесс перепрограммирования робота.

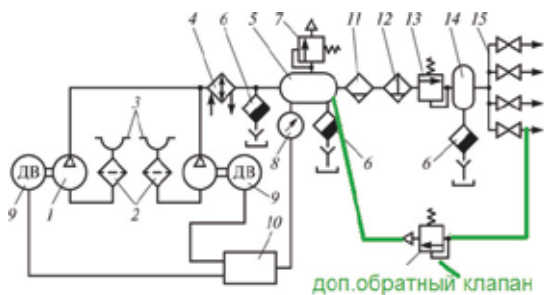


Рис. 2. Рекуперация сжатого воздуха обратно в пневмосеть

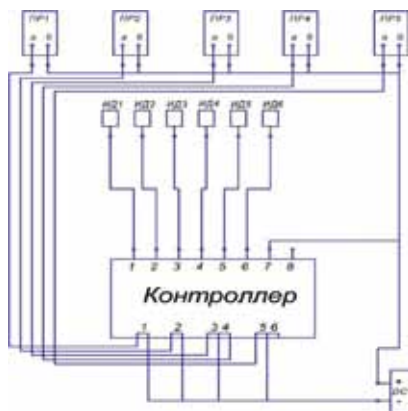


Рис. 3. Подключение ПЛК

Для питания схемы электроснабжения элементов промышленного робота разработан модернизированный импульсный блок питания. Он выполнен с функцией плавного пуска – «софт-старта», исключающей бросок тока при подключении источника, который возникает в начале процессе заряда конденсатора на выходе неуправляемого выпрямителя.

Исключение пикового тока при пуске источника необходимо для улучшения электромагнитной совместимости и исключения ложных срабатываний защиты от работы подобных устройств при их использовании в большом количестве в цеховых и лабораторных условиях.

На рис. 4 представлена схема, реализующая плавный пуск для импульсного блока питания. В схеме осуществлено усовершенствование имеющихся вариантов обратноходовых преобразователей подобных источников с установкой полевого транзистора Q2 и схемы управления им и небольшого числа пассивных элементов [3].

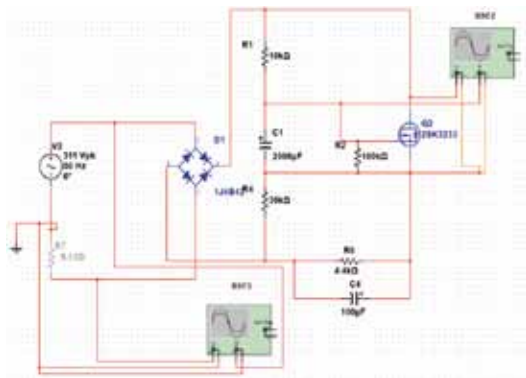


Рис. 4. Схема плавного пуска импульсного источника питания

Таким образом, при осуществленной модернизации использован комплексный подход улучшения рассматриваемой системы пневматического промышленного робота, включающий в себя ряд описанных выше технических решений.

Модернизированный комплекс силовой части и схемы управления промышленным роботом имеет быстродействие не хуже 100 мкс. Усовершенствованный источник питания ограничивает бросок тока на уровне не более двукратного номинального, что в свою очередь продлевает срок службы как самого источника питания, так и подключенного вспомогательного оборудования, улучшает электромагнитную совместимость. Также отметим, что само построение источника питания в импульсном варианте по сравнению с ранее использовавшимся трансформаторным в несколько раз уменьшает энергопотребление.

По совокупности предлагаемых технических решений проведено технико-экономическое обоснование.

Основные параметры технико-экономического обоснования предлагаемого решения следующие. Определены затраты на материалы и комплектующие на одну единицу модернизируемого оборудования. К ним относится стоимость комплектующих – около 50 тыс. руб., ПЛК – 18 тыс. руб. и стоимости источник питания и его дополнительных элементов (полевой транзистор, ряд сопротивлений, дополнительная емкость) – 3 тыс. руб. Затраты на оплату труда при реализации планируются следующие. Предполагается использование сдельной оплаты труда двух рабочих и инженера. К общим издержкам относятся оплата доставки робота 15 тыс. руб., аренда помещения 15 тыс. руб. и оплата услуг связи в размере 10 тыс. руб. Суммарные затраты на модернизацию в общем итоге не должны превышать 150 тыс. рублей на единицу модернизации – на один промышленный робот. В сравнении с аналогами минимальной стоимостью в 600–700 тыс. рублей предлагаемое решение является экономически выгодным.

На трех лабораторных установках промышленных роботов осуществлена практическая реализация предложенного комплекса решений.

В итоге, для комплекса оборудования электропневмомеханической системы промышленных роботов:

- за счет применения ПЛК уменьшены массогабаритные показатели системы управления; упрощен процесс программирования; повышено быстродействие работы, надежность и ремонтпригодность системы управления, удобство эксплуатации путем отслеживания в реальном времени работы системы конечных датчиков;

- посредством модернизации источника питания улучшены параметры источника питания контроллера и электрооборудования промышленного робота;

- корректировкой пневмосхемы системе приданы дополнительные энергоэффективные свойства.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

Литература

1. Трофименко С.Р., Федотов В.В., Рожков В.В. Адаптация роботов с пневмоприводом для управления от современных программируемых логических контроллеров // Сб. трудов IX-ой Межд.науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1. Смоленск, 2019. С. 202–205.

2. Трофименко С.Р. Проектирование и создание прототипа импульсного блока питания на UC3843 // Сб. трудов XVII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т. 1. Смоленск, 2020. С. 252–256.

3. Крутиков К.К., Рожков В.В., Леонов И.Е. и др. Современное состояние и решение проблемы плавного пуска импульсных источников питания // Практическая силовая электроника, 2018. № 4 (72). С. 42–46.

УДК 62-83

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сафронов Виктор Николаевич,
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
globallroll@mail.ru

В данном докладе представлены основные тормозные режимы двигателей постоянного тока.

Ключевые слова: электродвигатели, торможение, тормозная система, рекуперативное торможение, торможение противовключением, динамическое торможение.

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF BRAKE SYSTEMS OF DC MOTORS

Safronov Victor Nikolaevich

This report presents the main braking modes of DC motors.

Keywords: electric motors, braking, braking system, regenerative braking, opposition braking, dynamic braking.

Электродвигатели отличаются тем, что для прекращения их работы нет нужды в применении вспомогательных тормозных устройств. Электрическое торможение позволяет быстро остановить механизм или уменьшить его частоту вращения без применения механических тормозов. Торможение применяется для снижения скорости состава, при воздействии на него активных сил и моментов, либо для полного сброса скорости до остановки состава.

Различают три группы основных тормозных систем:

1. *Рекуперативное торможение.* В данном режиме ЭДС машины становится выше напряжения сети, соответственно ток меняет свое направление и электродвигатель переходит в режим накопления электроэнергии (рис. 1).

Данный режим возможен только у шунтовых двигателей. Так как в этом режиме скорость двигателя становится больше скорости холостого хода, ЭДС двигателя превышает напряжение питания (формула 1) [1]:

$$E = k_e \Phi n > U = k_e \Phi n_0, \quad (1)$$

так как $n > n_0$.

Соответственно, ток якоря подчиняется следующему физическому закону и выражается как (формула 2):

$$U = E + (-I_a R_a), \quad I_a < 0. \quad (2)$$

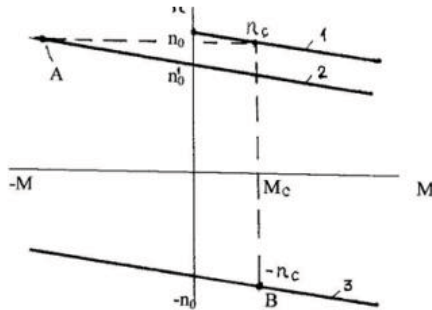


Рис. 1. Механические характеристики при генераторном торможении

В данном тормозном режиме электродвигатель работает подобно генератору. Снижение скорости происходит за счет перемены характеристики двигателя. Данная система торможения может быть охарактеризована как установившаяся и как переходная [1].

Рекуперация применяется в основном для подтормаживания на спусках, что для таких типов транспорта на сегодняшний день недопустимо. На рис. 1 представлены механические характеристики при рекуперативном торможении.

Рекуперативное торможение является наиболее экономичным способом торможения, так как двигатель в данном режиме работает как генератор и позволяет использовать электрическую энергию повторно. Недостатком данного режима является невозможность полной остановки состава, только лишь сброс скорости.

2. *Торможение противоключением* осуществляется путем переключения концов обмотки якоря, вследствие чего направление тока меняется на противоположное и происходит изменение направления момента машины. Этот режим также может возникать в двух случаях.

У вращающегося двигателя изменили полярность напряжения питания якорной обмотки (рис. 2).

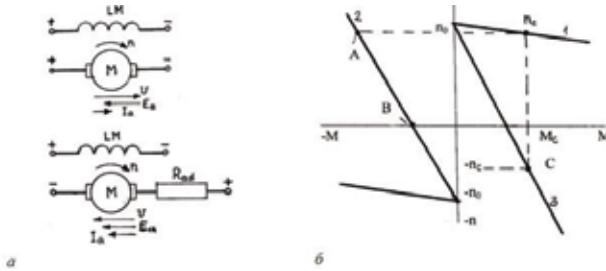


Рис. 2. Схемы включения обмоток (а) и механические характеристики (б) двигателя с независимым возбуждением при торможении противовключением

В данном случае направление поля двигателя не изменилось. В первый момент направление скорости остается неизменным, т. к. двигатель и механизм обладают инерцией. Если в этом случае двигатель не отключить от источника питания, то якорь изменит направление вращения.

Очевидно, что в первый момент времени ток будет очень велик (формула 3):

$$I_{\text{нач}} = (U + E) / r_a \approx 2I_{\text{кз}}. \quad (3)$$

Преимуществом данной тормозной системы является возможность полной остановки состава и достаточно большой средней тормозной момент [3].

Недостатком является необходимость добавления большого добавочного сопротивления в цепь якоря. Так же этот метод торможения используется в реверсивных механизмах. На рис. 3 представлены механические характеристики двигателя при торможении противовключением.

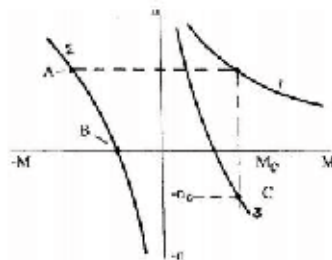


Рис. 3. Механические характеристики двигателя с последовательным возбуждением при торможении противовключением

3. *Динамическое торможение* может быть с самовозбуждением и с независимым возбуждением. Первый случай используется как аварийное торможение [2]. При торможении с независимым возбуждением якорная обмотка двигателя отключается от питающей сети и замыкается на тормозное сопротивление. Обмотка возбуждения подключена к сети, и по ней протекает номинальный ток, для чего у двигателя включается добавочное сопротивление (рис. 4).

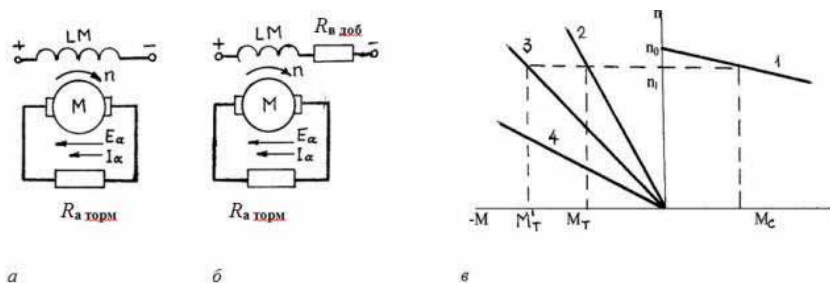


Рис. 4. Схемы включения обмоток двигателей (а, б) и характеристики (в) двигателей постоянного тока при динамическом торможении

Процесс торможения и характеристики у обоих двигателей одинаковы. Двигатель стал генератором, работающим на постоянное сопротивление.

Поскольку в якорной обмотке действует только ЭДС, ток меняет направление. Величина тока, следовательно, и момента зависят от величины тормозного сопротивления: чем оно меньше, тем момент и ток больше (характеристики 2 и 3, рис. 4, в). Торможение приводит к полной остановке. Различие режима для разных двигателей состоит в разной энергетике: для шунтового двигателя потребление из сети равно (формула 4):

$$P_B = i_{BN} U_B = (2-3) I_N U_B = (2-3) P_N \quad (4)$$

для серийного (формула 5):

$$P_B = I_N U_B = P_N. \quad (5)$$

Энергия, поступившая с вала, обращается в потери.

По сравнению с противовключением эффективность торможения меньше, поэтому целесообразно применять ступенчатое выключение сопротивлений в якорной цепи по мере снижения скорости [2].

Литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод. М.:Мастерство, 2000.
2. Онищенко Т.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок. М.: Изд. РАСХН, 2001.
3. Кириллов А.В., Степанюк Д.П., Ясенов Н.Д. Электрический привод. Екатеринбург, 2016.

УДК 621.316.9:004.94

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ STD-1250 В ПРОГРАММЕ MATLABSIMULINK

¹Семина Ирина Александровна, ²Андреева Елена Григорьевна,
³Шихабудинов Шихабудин Магомедович,
^{1,2}ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск
³ФГБОУ ВО «РАНХ иГС» г. Москва, заместитель генерального директора
ООО «ПромАльянс» г. Ростов-на-Дону
semina_ia@mail.ru, lenandr02@yandex.ru, shikhabudinov@mail.ru

Рассматривается имитационное моделирование релейной защиты электродвигателя в программе Matlab. Проведено моделирование защиты минимального напряжения синхронного двигателя STD-1250-2 в среде Matlab Simulink 7.0. По результатам моделирования защиты минимального напряжения (ЗМН) синхронного двигателя построены график зависимости напряжения срабатывания ЗМН от времени срабатывания защиты и график положения выключателя в момент срабатывания защиты ЗМН синхронного двигателя.

Ключевые слова: имитационное моделирование, релейная защита, синхронный двигатель, защита от минимального напряжения

SIMULATION MODELING OF THE SYNCHRONOUS MOTOR'S STD-1250 UNDER-VOLTAGE PROTECTION IN THE MATLAB SIMULINK PROGRAM

Semina Irina Aleksandrovna, Andreeva Elena Grigoryevna,
Shikhabudinov Shikhabudin Magomedovich,

Simulation modeling of a virtual model of electric motor's relay protection in the Matlab program is proposed. The advantages of virtual modeling in the Matlab program are considered. The synchronous motor's STD-1250-2 under-voltage protection was simulated in the Matlab-Simulink 7.0 framework. According to the simulation results of the synchronous motor's under-voltage protection (UVP), the dependency graph of the UVP operate voltage and protection operating time, as well as the graph of the cut-off position at the synchronous motor's UVP's response time were built.

Keywords: simulation modeling, relay protection, synchronous motor, under-voltage protection.

Современные технические и программные средства позволяют моделировать сложные и подробные динамические модели электротехнических систем и устройств промышленных предприятий. Одним из таких современных промышленных предприятий является общество с ограниченной ответственностью «ПромАльянс». По техническому заданию ООО «ПромАльянс» проведено имитационное моделирование релейной защиты минимального напряжения синхронного двигателя СТД-1250-2.

ООО «ПромАльянс» осуществляет деятельность в железнодорожной и нефтегазовой отраслях. Основными направлениями деятельности предприятия являются поставка и монтаж специализированного электрооборудования и оказание инжиниринговых услуг. Представительства компании находятся в г. Москве, Ростове-на-Дону, Омске, Пскове [<https://www.prallgroup.ru/>].

Для имитационного моделирования релейной защиты синхронного двигателя СДН-1250-2 применяется современный программный продукт имитационного моделирования - программный комплекс Matlab. Широкое распространение эта программа получила благодаря универсальности, наличию большого количества расширений и библиотек. В программе Matlab имеется возможность проводить расчеты с комплексными числами, которые часто используются в электротехнике и электроэнергетике, а также рассчитывать динамические режимы работы электротехнического устройства путем решения дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих эти режимы [1, 2, 3].

Целью имитационного моделирования в данной статье является разработка в среде Matlab Simulink 7.0 виртуальных моделей релейных защит минимального напряжения синхронного двигателя СТД-1250-2. Силовая часть электрической системы выполнена с помощью блоков библиотеки Sim Power Systems, а релейная защита стандартными блоками Simulink, отражающими логику и алгоритм ее работы [1, 2, 4]. Виртуальные модели имеют достоинства, а именно, благодаря блочному принципу построения можно легко изменять не только параметры, но и конфигурацию первичной сети. В модели защиты минимального напряжения двигателя в программе Matlab Simulink использованы модели трехфазных первичных цепей электротехнических систем: генератора, трансформатора (рис. 1), выключателей, нагрузки, а также трехфазных преобразователей (датчиков) тока и напряжения.

Упрощенная логическая схема защиты минимального напряжения двигателя в программе Matlab Simulink представлена на рис. 2.

Схема минимальной защиты напряжения двигателя СТД-1250-2 приведена на рис. 3

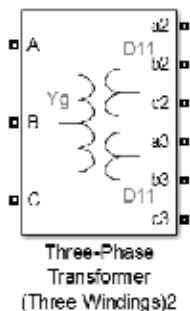


Рис. 1. Блок трансформатора Three-PhaseTransformer (Three Windings)

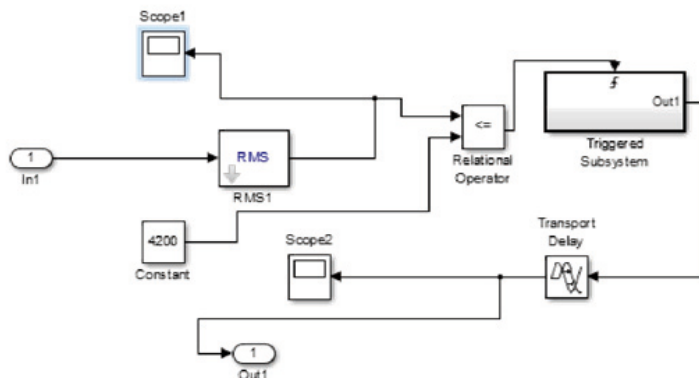


Рис. 2. Логическая схема минимальной защиты напряжения двигателя

Работа схемы ЗМН двигателя может быть описана в имитационной модели. При увеличении нагрузки двигателя через блок Three-Phase Series RLC Load (рис. 4), с помощью которого имитируется процесс короткого замыкания в двигателе, в сети происходит падение напряжения.

Three-Phase
Series RLC Load

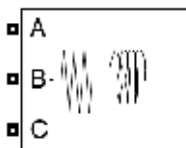


Рис. 4. Блок нагрузки Three-Phase Series RLC Load

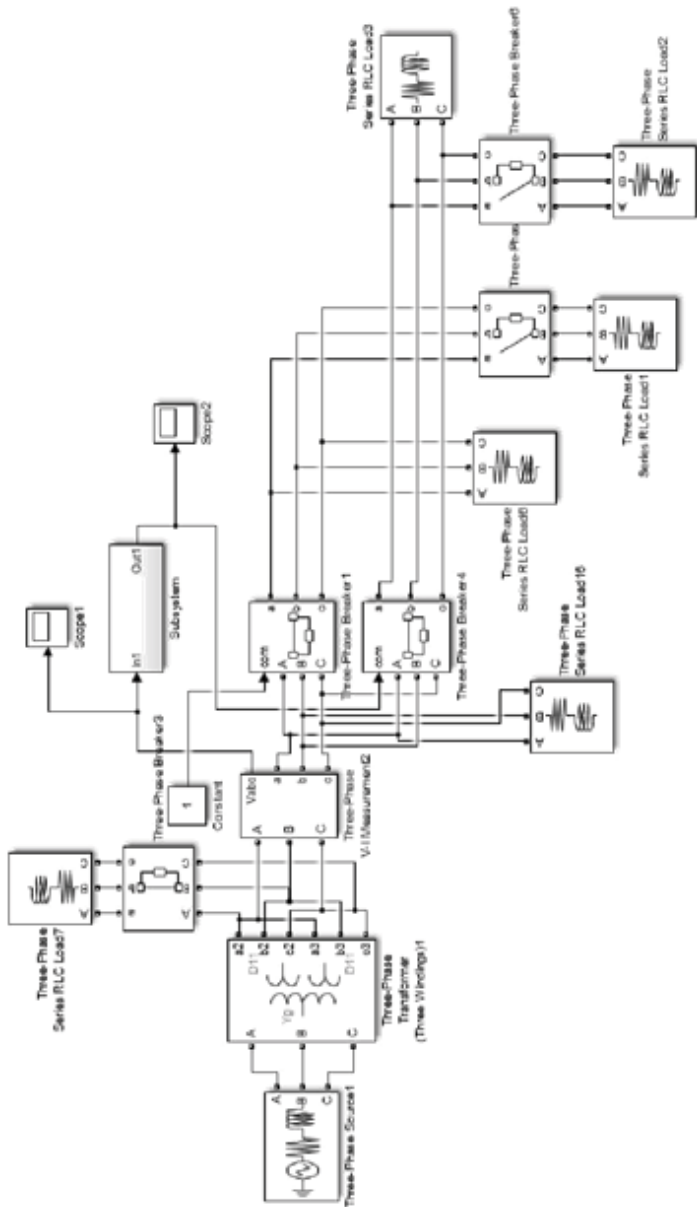


Рис. 3. Схема защиты минимального напряжения двигателя STD-1250-2

С помощью блока Three-Phase V-I Measurement (рис. 5) определяется напряжение в сети, которое передается в подсистему Subsystem, представляющую собой блок защиты минимального напряжения.

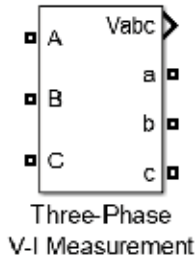


Рис. 5. Блок Three-Phase V-I Measurement

Далее сигнал напряжения преобразуется через блок RMS до действующего значения и передается в блок сравнения сигналов Relational Operator.

Сигнал напряжения передается в блок сравнения сигналов, куда также поступает сигнал напряжения, реализованный с помощью блока Constant ($U = 4200$ В), являющийся уставкой срабатывания защиты минимального напряжения двигателя. Если значение напряжения на блоке *Three-Phase V-I Measurement* меньше значения, установленного блоком Constant, то с помощью блока сравнения сигналов Relational Operator и подсистемы Triggered Sub system на выходе получаем сигнал равный нулю. Сигнал передается в систему не сразу, а с небольшой задержкой, благодаря блоку Transport Delay, который позволяет смоделировать время срабатывания защиты минимального напряжения, равный 0,5 секунд.

Уставка по напряжению первой ступени при двухступенчатой защите определяется по выражению

$$U_{31} = 0,7 U_{\text{ном}} . \quad (1)$$

Время срабатывания секционных выключателей составляет 0,5-1,5 сек. Напряжение срабатывания второй ступени защиты ЗМН определяется выражением

$$U_{32} = 0,5 U_{\text{ном}} . \quad (2)$$

Время срабатывания второй ступени ЗМН изменяется в диапазоне 10,0–15,0 сек.

Инвертированный сигнал поступает на блок выключателя Three-Phase Breaker (рис. 6) и отключает его. В результате при отключении выключателя происходит уменьшение нагрузки и восстановление уровня напряжения до номинального уровня.

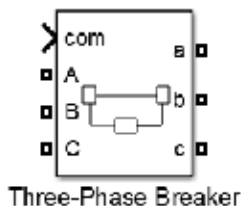


Рис. 6. Блок Three-Phase Breaker

В блоке трехфазного выключателя Three-Phase Source (рис. 7) реализован трехфазный автоматический выключатель, в котором время включения и выключения можно контролировать либо с помощью внешнего сигнала Simulink (режим внешнего управления), либо с помощью таймера внутреннего управления (режим внутреннего управления). В нашем случае выключатель соединен с логической схемой релейной защиты двигателя от минимального напряжения (ЗМН) и в случае срабатывания защиты – отключает блок нагрузки.

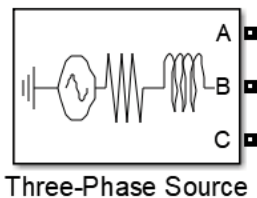


Рис. 7. Блок Three-Phase Source

По результатам моделирования ЗМН двигателя СТД-1250-2 построен график зависимости напряжения от времени срабатывания защиты (рис. 8).

При избыточной нагрузке (моделирование процесса короткого замыкания) происходит падение напряжения. При падении напряжения ниже 4200 В (уставка срабатывания блока ЗМН, реализуемая с помощью блока

Constant в логической схеме) срабатывает защита и спустя некоторое время (0,5 секунд) релейная защита отключает нагрузку. Уровень напряжения возвращается к номинальному.

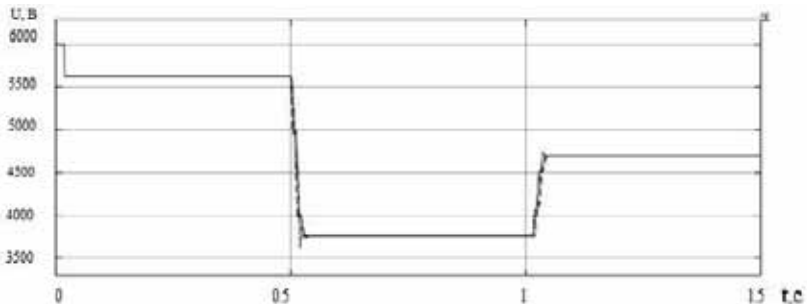


Рис. 8. Результат моделирования МЗН

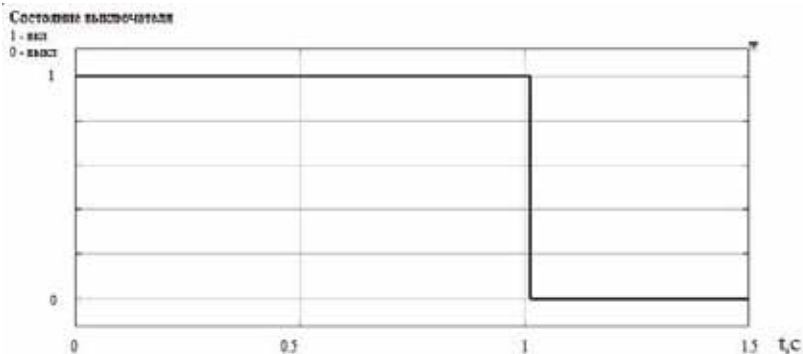


Рис. 9. Результат моделирования МЗН (Состояние выключателя)

На графике (рис. 9) показано, что в момент времени $t = 1$ с происходит изменение состояния выключателя с закрытого на открытый и отключается избыточная нагрузка, тем самым приводя уровень напряжения к номинальному, таким образом, двигатель отключается при коротком замыкании.

Защита ЗМН может использоваться совместно с дистанционной, дифференциальной и резервной защитами, а также применяться с устройством автоматического ввода резерва, трансформаторами тока для обеспечения надежной и эффективной работы синхронного двигателя СТД-1250-2.

Резюме:

1. Согласно техническому заданию ООО «ПромАльянс» проведено имитационное моделирование защиты минимального напряжения (ЗМН) синхронного двигателя СТД-1250-2 в программе Matlab Simulink.

2. По результатам моделирования в программе Matlab Simulink построены график зависимости напряжения от времени срабатывания защиты и график состояния выключателя при моделировании процесса короткого замыкания двигателя СТД-1250-2.

3. Полученные результаты моделирования защиты минимального напряжения (ЗМН) синхронного двигателя СТД-1250-2 в программе Matlab Simulink позволяют улучшить такие показатели как надежность и ремонтно-пригодность, а также увеличить срок службы синхронного двигателя.

Литература

1. Микропроцессорное устройство защиты «Сириус-Д». Руководство по эксплуатации. М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2010.

2. Александров А.М. Выбор уставок срабатывания защит асинхронных электродвигателей напряжением выше 1 кВ. М.:СПб.: ПЭИПК, 1999. 68 с.

3. Исмагилов Ф.Р., Ахматнабиев Ф.С. Микропроцессорные устройства релейной защиты энергосистем: учебное пособие // Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2009. 171 с

4. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения: учебник для вузов. 5-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2006. 639 с.

УДК 621.316.57

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОБРЫВЕ РЕН ПРОВОДНИКА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С СИСТЕМОЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ TN-C-S С ПОМОЩЬЮ ВВОДНОГО РАЗНОНОМИНАЛЬНОГО КОММУТАЦИОННОГО АППАРАТА (ВРКА)

Цырук Сергей Александрович, Тимонин Александр Сергеевич,
Добродеев Сергей Николаевич
ФБГОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
a.s.timonin@mail.ru, DobrodeevSN@mpei.ru

В нашей стране с 90-х годов прошлого века началось активное внедрение новых и более безопасных систем заземления. Одной из них стала система TN-C-S. Как показали

исследования, ее использование связано с некоторыми рисками, такими как обрыв объединенного PEN проводника в распределительной сети [8]. В современном мире в условиях постоянного роста потребляемой мощности и доли реактивных нагрузок этот вопрос становится все более острым и его необходимо решать.

В качестве варианта защиты от данной аварийной ситуации был разработан вводной разнономинальный коммутационный аппарат (ВРКА) [6], который осуществляет полное отделение электроустановки от распределительной сети с разрывом электрической связи между PEN проводником и заземляющим устройством электроустановки.

В статье выполнен анализ аварийной ситуации, связанной с обрывом PEN проводника в сети TN-C-S, и рассмотрены устройство и принцип действия ВРКА.

Ключевые слова: защитные устройства, система заземления TN-C-S, обрыв PEN проводника, вводной разнономинальный коммутационный аппарат.

METHOD FOR PROTECTING HUMAN AND EQUIPMENT IN CASE OF PEN CONDUCTOR BREAKING IN DISTRIBUTION NETWORK WITH TN-C-S EARTHING SYSTEM USING AN INPUT MULTI-NOMINAL SWITCHING DEVICE (IMSD)

Tsyruk Sergei Aleksandrovich, Timonin Aleksandr Sergeevich,
Dobrodeev Sergey Nikolaevich

In Russia, since the 90s of the last century, the active introduction of new and safer grounding systems began. One of them was the TN-C-S system. Studies have shown that its use is associated with some risks, such as the breakage of the combined PEN conductor in the distribution network [8]. In the modern world, with the constant growth of power consumption and the share of reactive loads, this issue is becoming more and more important and it must be addressed.

As an option for protection against this emergency, an introductory multi-nominal switching device (IMSD) [6] was developed, which completely separates the electrical installation from the distribution network with a break in the electrical connection between the PEN conductor and the grounding device of the electrical installation.

The article analyzes the emergency situation associated with a break in the PEN conductor in the TN-C-S network, and considers the structure and principle of operation of the IMSD.

Keywords: protective devices, TN-C-S grounding system, PEN conductor breaking, input multi-nominal switching device.

В связи с активной интеграцией России в мировое сообщество в нашей стране в 90-х годах прошлого века начала активно обновляться нормативная база, регламентирующая правила безопасности и устройства электроустановок. Одним из аспектов модернизации стало внедрение систем электроснабжения TN-C-S и TN-S [2]. А поскольку для реализации первого варианта необходим значительно меньший расход цветного металла и трудозатрат, то сеть TN-C-S ожидаемо получила более широкое распространение.

В отличие от системы заземления TN-C, где безопасность человека при косвенном прикосновении обеспечивалась занулением корпуса электроустановки, разделение совмещенного PEN проводника на нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники, позволило осуществить заземление открытых проводящих частей электроприемников, снизив тем самым величину напряжения прикосновения до безопасных значений [5, 7]. Но, как показали исследования, несмотря на все преимущества сети TN-C-S, ее использование влечет за собой и ряд опасных факторов [8]:

1) При повреждении изоляции в электроприемниках с заземленными проводящими частями величина возникающего при этом тока может оказаться мала для срабатывания устройств защиты от сверхтоков, но достаточной для возникновения пожара, а также для передачи опасного потенциала на корпус электроустановки.

2) В случае обрыва PEN проводника при несимметричности нагрузок по фазам возникает напряжение смещения нейтрали, при котором электроустановка может оказаться под напряжением до 380 В, а ее корпус – до 220 В. Ситуация усугубляется тем, что достаточно сложно обнаружить этот обрыв, а, следовательно, риск поражения человека электрическим током может сохраняться неограниченное время.

В первом случае в качестве меры дополнительной защиты человека при косвенном прикосновении рекомендуется применять устройства дифференциальной защиты [8, 9], реагирующие на ток утечки, превышающий 30 мА. Данный аппарат также способен обеспечить безопасность в случае появления на открытых проводящих частях электроустановок опасных для жизни человека напряжений при обрыве нулевого защитного проводника.

Несколько иначе обстоит ситуация со второй неисправностью. Рассмотрим наихудший случай, когда в системе TN-C-S произошел обрыв PEN проводника. При этом фазы загружены крайне неравномерно, т. е. к фазам А и В подключены мощные приемники, а фаза С практически не загружена (рис. 1).

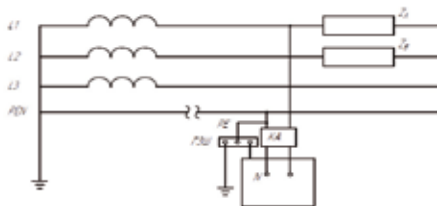


Рис. 1. Обрыв PEN проводника в сети TN-C-S

Как видно из рисунка при таком развитии событий электро-приемники окажутся фактически под линейным напряжением, что приведет сначала к выходу оборудования из строя, а затем и к пожару. Этих последствий можно избежать, применив в качестве защиты реле максимального напряжения, которое отключит питание электроприемника при превышении заданной уставки.

Но в данной ситуации опасность возникает не только для оборудования, но и для жизни человека. Поскольку роль нулевого рабочего проводника начинает выполнять защитное заземление, то корпус электроустановки может оказаться под напряжением до 220 В, и ни одна из установленных защит не среагирует на него, а, следовательно, время отключения питания будет значительно больше максимально допустимого требованиями электробезопасности [1] времени 0,17 с.

Найдем значение тока, который будет протекать через тело человека при косвенном прикосновении в данной ситуации. Поскольку полное сопротивление тела человека имеет сильную зависимость от приложенного напряжения, то воспользуемся эмпирической формулой (1) [4], применимой при напряжении выше 5 В и частоты 50 Гц, кОм:

$$Z_h = 0,3 + \frac{77}{U_{\text{пр}} + 10} \quad (1)$$

Отсюда нетрудно получить выражение (2) для тока, мА [4]:

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}} \cdot (U_{\text{пр}} + 10)}{0,3 \cdot U_{\text{пр}} + 80} = \frac{220 \cdot (220 + 10)}{0,3 \cdot 220 + 80} = 347 \text{ мА}. \quad (2)$$

Данный ток более чем в 3 раз превосходит пороговый фибрилляционный [4], а значит, что его неограниченное воздействие с большой долей вероятности окажется для человека смертельным.

По ГОСТ 12.1.038-82 [1] предельное напряжение, которое может находиться на открытых проводящих частях продолжительное время 20 В. Воспользовавшись формулой (3) [3], найдем зависимости напряжения смещения нейтрали при различных сопротивлениях фаз А и В от отношения сопротивления фазы С к сопротивлению фазы А (рис. 2). Сопротивление заземления принято $Z_{PE} = 34 \text{ Ом}$

$$U_N = \frac{\frac{E_A}{Z_A} + \frac{E_B}{Z_B} + \frac{E_C}{Z_C}}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_{PE}}} \quad (3)$$

Как видно из графиков увеличение нагрузок фаз А и В влечет за собой рост напряжения при одинаковых отношениях сопротивлений. Так при эквивалентной нагрузке на фазы А и В равной 10 Ом напряжения достигает предельного значения 20 В при $r \approx 0,25$, в то время как при увеличении нагрузки до 100 Ом предельное напряжение будет достигнуто уже при $r \approx 0,65$. Также стоит отметить, что график, построенный при реактивных нагрузках фаз А и В и активной фазы С, лежит значительно выше остальных.

Таким образом, в современном мире в условиях постоянного роста потребляемой мощности и доли реактивных нагрузок вопрос обрыва PEN проводника в сетях TN-C-S становится все более острым.

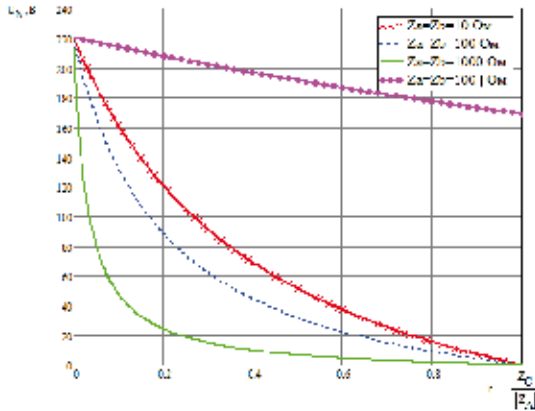


Рис. 2. Зависимость напряжения смещения нейтрали от несимметричности нагрузок

В связи с этим был разработан защитный вводной разнономинальный коммутационный аппарат [6] (ВРКА). Данное устройство позволяет трансформировать систему TN-C-S в систему TT и обратно, осуществляя полное отделение электроустановки от распределительной сети с разрывом электрической связи между PEN проводником и заземляющим устройством электроустановки.

ВРКА выполнен на базезащитных аппаратов модульного или силового оборудования и содержит автономный модуль малономинального автоматического выключателя с номиналом не более 6 А и номинальной группы. При этом все полюса ВРКА отключаются одновременно [6] (рис. 3).

В случае обрыва магистрального PEN проводника работа аппарата происходит следующим образом (рис. 4):

- 1) по контуру, изображенном на рисунке 4, через автономный модуль малономинального автоматического выключателя начинает протекать ток в несколько ампер;
- 2) данный ток воздействует на биметаллическую пластину теплового расцепителя и через некоторое время вызывает его срабатывание;
- 3) ВРКА расцепляет все контакты, полностью отделяя тем самым электроустановку от распределительной сети.

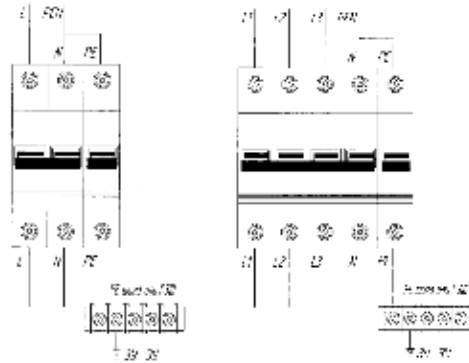


Рис. 3. Вводной разнономинальный коммутационный аппарат

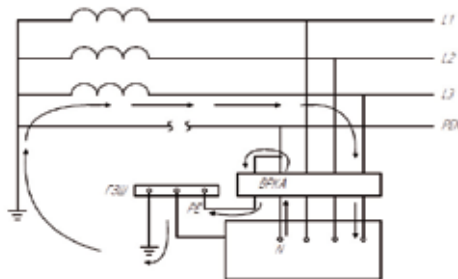


Рис. 4. Схема включения ВРКА

Стоит отметить, что включение аппарата в цепь РЕ проводника не нарушает работу системы заземления, поскольку даже в случае отгорания или залипания контакта малономинального автоматического выключателя, корпус установки сохранит связь с главной заземляющей шиной. Проще говоря, при срабатывании ВРКА система из TN-C-S трансформируется в TT, устраняя возможность появления опасных напряжений на корпусе электроустановки.

Комплектация ВРКА разнообразна:

1) в качестве силовой части можно использовать как модульные автоматические выключатели, так и устройства дифференциальной защиты (УЗО и АВДТ);

2) уставка малономинального модуля выбирается исходя из индивидуальных характеристик нагрузки (рис. 2), сопротивления заземляющих устройств и требований электробезопасности [1, 9];

Таким образом, вводной разнономинальный коммутационный аппарат сможет не только обеспечить достаточный уровень безопасности [1, 9], но и за счет простоты конструкции не окажется слишком дорог для сохранения жизни и здоровья потребителей.

Литература

1. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
2. ГОСТ Р 50571.3-94 (МЭК 364-4-41-92). Электроустановки зданий. Часть 4: Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. М.: Изд-во стандартов. 1995. 28 с.
3. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. и др. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. 4-е изд. СПб.: Питер, 2003. 463 с.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. М.: Знак, 2000. 440 с.
5. Карякин Р.Н. Нормы устройства безопасных электроустановок. М.: Энергосервис, 2000. 453 с
6. Костров В.П. Способ трансформации систем электроснабжения TN-C-S и TT и система электроснабжения для осуществления способа с защитным вводным разнономинальным коммутационным аппаратом (ВРКА)// Патент России № 2695643, 2019.

7. Липатов А.А. Назначение, применение, устройство и расчет заземления оборудования. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2016. 64 с.

8. Никольский О.К., Черкасова Н.И., Ерёмкина Т.В. Совершенствование защитного отключения в системах электроснабжения до 1000 В // ВЕСТНИК КРАСГА, 2013. № 5.

9. Правила устройства электроустановок: утв. Приказом Минэнерго России от 20 июня 2003 г. № 242.7-еизд. М.: Изд-во НЦЭНАС, 2003.

10. Ivanova V.R., Rozhentcova N.V., Fetisov L.V. Development of a stand construction concept for safe and efficient after-repair tests of induction motors up to 1 kV // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp 146–150.

УДК 621.316

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА УСКОРЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Федорова Виктория Александровна, Кириченко Виктор Фёдорович,
Глазырин Глеб Владимирович
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет (НЭТИ)», г.
Новосибирск, Россия

win.victoria08@mail.ru, viktorkirichenko-v@mail.ru, glazyring@gmail.com

На данный момент процесс синхронизации осуществляется двумя традиционными методами вручную персоналом или при помощи автоматических устройств. Тяжесть возможных последствий при включении синхронного генератора на параллельную работу для электростанции и электроэнергетической системы зависит как от выбранного способа синхронизации, так и от наличия человеческого фактора. Для минимизации возможных последствий пуска генератора на параллельную работу предложен промежуточный модернизированный метод и разработана новая система синхронизации, исключая влияние человеческого фактора. Система представляет собой цифровое устройство – подсистему комплекса микропроцессорной противоаварийной автоматики КПА-М и решает проблему по переходу к автоматическому управлению процессом производства электроэнергии.

Ключевые слова: синхронизация, учебная электростанция, микропроцессорные устройства, модернизированный метод, шкаф КПА-М, автоматические синхронизаторы.

MICROPROCESSOR DEVICE FOR IMPLEMENTING THE ACCELERATED SYNCHRONIZATION METHOD

Fyodorova Viktoria Alexandrovna, Kirichenko Viktor Fyodorovich,
Glazyrin Gleb Vladimirovich

At the moment, the synchronization process is carried out by two traditional methods, manually by personnel or with the help of automatic devices. The severity of the possible

consequences when a synchronous generator is switched on for parallel operation for a power plant and an electric power system depends both on the chosen synchronization method and on the presence of a human factor. To minimize the possible consequences of starting the generator for parallel operation, an intermediate modernized method was proposed and a new synchronization system was developed that excludes the influence of the human factor. The system is a digital device - a subsystem of the KPA-M microprocessor-based emergency automation complex and solves the problem of switching to automatic control of the electricity generation process.

Keywords: synchronization, educational power station, microprocessor devices, modernized method, relay panel, automatic synchronizers.

Синхронизация – комплекс действий по включению синхронных генераторов на параллельную работу с другими синхронно вращающимися генераторами электростанции или электроэнергетической системой (ЭЭС) [1]. На данный момент операция синхронизации производится двумя традиционными способами: точной синхронизации и самосинхронизации. В нормальных режимах работы энергосистемы включение генераторов происходит с использованием метода точной синхронизации. При этом в момент включения генератора в сеть необходимо обеспечить выполнение следующих требований [3]:

- 1) равенство амплитуд ЭДС генератора и системы;
- 2) равенство частот вращения генератора и системы;
- 3) совпадение фаз ЭДС генератора и системы в момент включения выключателя.

Перечисленные требования обеспечивают оптимальные условия для включения агрегата за счет снижения величины уравнивающего тока и момента на вал генератора. Минусом данного метода является длительность выполнения процесса.

Способ самосинхронизации, напротив, позволяет выполнять операцию синхронизации как в нормальном режиме работы ЭЭС, так и в аварийных условиях. Запуск генераторов происходит ускоренно, при этом не требуется соблюдения описанных требований. Недостатком данного способа являются уравнивающие токи большой величины в момент включения, снижение напряжения на шинах электростанции, возможности втягивания явнопольного генератора в противофазе ЭДС агрегата и системы за счет момента явнопольности (реактивного момента) [4].

Операция синхронизации – неотъемлемая часть комплексного процесса производства электроэнергии, её выполнение должно происходить с минимальными последствиями для электрической станции и не нарушать устойчивости ЭЭС [6].

Таким образом, целью работы являлось создание нового промежуточного метода синхронизации и его реализация на базе цифрового автоматического устройства – синхронизатора, для минимизации влияния на процесс человеческого фактора [5]. Промежуточный метод основан на имеющихся традиционных методах, однако исключает их основные недостатки.

Объектом исследования выступает учебная электростанция Новосибирского Государственного Технического Университета (НГТУ). Она введена в эксплуатацию в 1975 году и реализована на базе электромеханических реле. Внедрение новой системы синхронизации с применением цифровых устройств актуально для электростанции, поскольку после ее технологической модернизации (внедрение дополнительного синхронного генератора) обеспечение синхронизации существующей системой будет невозможно. Экономически целесообразным является выполнение микропроцессорного синхронизатора в качестве одной из подсистем комплекса противоаварийной автоматики КПА-М (производство компании «ИАЭС», г. Новосибирск), так как на сегодняшний день уже ведутся работы по модернизации учебной электростанции на базе данных устройств [2].

Последовательность действий предлагаемого модернизированного метода: ротор генератора раскручивается до подсинхронной скорости, далее на обмотку возбуждения подается величина тока, меньше его номинального значения, что обуславливает угол δ в момент включения. Для оценки целесообразности применения разрабатываемого метода принят численный показатель – величина уравнивающего тока. Расчет уравнивающего тока при изменении угла δ от 0° до 180° представлен в качестве графиков (рис. 1). Данные зависимости построены на основании опытов, проведенных на генераторе учебной электростанции.

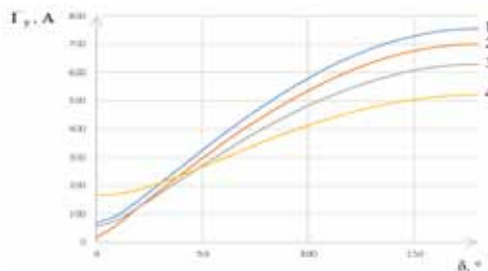


Рис. 1. Зависимость уравнивающего тока от угла δ и i_f (1 – $i_f = 17,5$ А, 2 – $i_f = 10$ А, 3 – $i_f = 6$ А, 4 – $i_f = 3$ А)

Согласно проведенным расчётам, рекомендуется включение агрегата на параллельную работу при угле, лежащем в диапазоне 30–40 °, и токе возбуждения от 10 А до 6 А: в этом случае значение уравнивающего тока соответствует около 80 % от максимального уравнивающего тока при традиционном методе самосинхронизации. То есть модернизированный метод синхронизации характеризуется расширением диапазона угла δ и снижением тока возбуждения ниже номинально значения, что позволяет уменьшить величину уравнивающих токов в момент включения и выполнить процесс быстрее, чем при методе точной синхронизации.

Для исследования различных методов синхронизации разработана математическая модель процесса включения учебного генератора электростанции НГТУ на параллельную работу с системой в среде MATLAB. Основной целью модели была графическая визуализация всех возможных вариантов синхронизации посредством расчета и изображения уравнивающего тока и угла δ во времени. При помощи полученного в математической модели графического представления были выбраны начальные условия, являющиеся наиболее оптимальными для включения агрегата.

В основе функционирования модели заложены уравнения, описывающие электромагнитные и электромеханические процессы, имеющие место в синхронной машине в условиях её синхронизации с сетью. Они образуют систему двух дифференциальных уравнений:

$$\left\{ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_C - M_{\text{синхр}} - M_P; \right.$$

$$\left. \begin{cases} J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_C - M_{\text{синхр}} - M_P, \\ \frac{d\delta}{dt} = \omega_r - \omega_c \end{cases} \right.$$

где J – момент инерции ротора учебного генератора; M_T – момент турбины; M_C – момент сопротивления; $M_{\text{синхр}}$ – синхронный момент; M_P – реактивный момент; ω_r – частота вращения исследуемого генератора; ω_c – частота вращения эквивалентного генератора системы.

Исследование различных вариантов синхронизации на основании математической модели заключается в варьировании начальных условий, предшествующих включению генераторного выключателя. В качестве них выбран момент включения в секундах, так как он определяет угол δ , ток возбуждения остается постоянным и обуславливает амплитуду ЭДС генератора, равную 230 В.

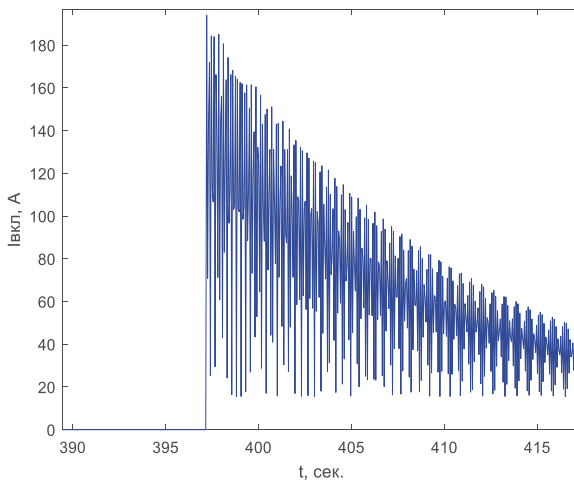


Рис. 2. Изменение уравнивающего тока $I_{\text{вкл}}$ во времени при использовании промежуточного модернизированного метода

При использовании традиционного метода точной синхронизации величина уравнивающего тока в момент включения составляет 65 А, при использовании метода самосинхронизации – 700 А, при использовании модернизированного метода (рис. 2) – 194 А. Промежуточный метод позволил добиться токов в момент включения в 3,6 раза меньше даже в худшем случае, когда угол δ в момент включения достиг своего максимального возможного значения (40°), чем при традиционном методе самосинхронизации, но почти в 3 раза больше, чем при использовании метода точной синхронизации. Модернизированный метод удовлетворяет следующим требованиям: выполняет процесс включения в сеть машины быстрее, чем методом точной синхронизации, но при этом имеет уравнивающие токи в момент включения меньше, чем в методе самосинхронизации.

Для автоматической синхронизации нескольких генераторов учебной электростанции НГТУ разработан микропроцессорный синхронизатор в качестве подсистемы КПА-М со следующей структурой:

1. Измерительный блок, осуществляет замеры мгновенных значений напряжения.

2. Блок цифровой обработки, преобразующий входные аналоговые сигналы во временные последовательности чисел.

3. Блок расчёта значений контролируемых величин (логическая часть устройства), для его функционирования разработаны алгоритмы по нахождению угла, частоты и действующих значений ЭДС.

4. Блок проверки условий синхронизации, реализующий контроль рассчитанных в предыдущем блоке величин, при их нахождении в допустимом диапазоне формируется выходной сигнал на включение привода генераторного выключателя, вне диапазона – блокировка.

Проведенные исследования обладают новизной, поскольку автоматизация процесса производства электроэнергии – неотъемлемая часть перспективного развития электроэнергетических объектов.

Практическая ценность заключается в возможности автоматической синхронизации различными методами и уменьшении капитальных затрат на системы автоматики. Перспектива использования – в учебном процессе, в ходе проведения научно-исследовательских работ, а также на реальных объектах электроэнергетики для быстрого включения в сеть крупных синхронных генераторов, для которых ускоренный пуск методом самосинхронизации является недопустимым.

Литература

1. Барзам А.Б. Системная автоматика. 4-е изд., перераб. доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 446 с.: ил.

2. Глазырин Г.В., Кравченко В.А., Фёдорова В.А. Разработка и внедрение микропроцессорной системы синхронизации для учебной электростанции // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч.- практ. конф. (Казань, 18–19 марта 2020 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. Т. 2. 436 с.

3. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем: учебник для вузов / под ред. чл.-корр. РАН, докт. техн. наук, проф. А.Ф. Дьякова. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

4. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем Санкт-Петербург: «Центр подготовки кадров энергетики», 2001 г. 381 с.

5. Романов Ю.В., Воронов П.И. Устройство точной автоматической синхронизации синхронного генератора // Релейщик. 2017. № 2. С. 14–15.

6. Fishov A., Murashkina I., Marchenkoet A. Analysis of power system static periodic stability withel ectronic generation // 14 International for umon strategic technology 2019 (Tomsk: TPU Publ. House), 2019. Pp. 636–641.

НАСТРОЙКА СЛЕДЯЩЕГО ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Филиппов Артур Николаевич, Зайнуллин Ильнур Ильсурович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
cs.s1997@yandex.com, ilnur1996@gmail.com

В тезисе рассмотрен синтез регулятора положения следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом первого порядка, обеспечивающего получение заданных точностных характеристик.

Ключевые слова: электропривод постоянного тока, астатизм первого порядка, контур тока, контур скорости, контур положения, стандартная настройка на оптимум по модулю.

ADJUSTMENT OF THE FOLLOWING POSITIONAL ACTUATOR WITH FIRST ORDER ASTATISM

Filippov Artur Nikolaevich, Zainullin Ilnur Ilisurovich

In the thesis, the synthesis of the position controller of the servo positional DC drive with first-order astatism is considered, which ensures the obtaining of the specified accuracy characteristics.

Keywords: DC drive, first-order astatism, current loop, speed loop, position loop, standard tuning to the optimum in absolute value.

Электропривод постоянного тока, построенный по принципу подчиненного регулирования координат, содержит контур тока и контур скорости, настроенные на оптимум по модулю.

При формировании желаемой передаточной функции $W_{\text{ж}}(s)$ необходимо исходить из требований к точностным характеристикам и динамическим показателям ЭП, которые сформулированы в техническом задании. При разработке следящего ЭП с астатизмом первого порядка ($\nu = 1$) желаемая передаточная функция будет иметь вид

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{K_{\Omega}(T_{2\text{ж}}s + 1)}{s(T_{1\text{ж}}s + 1)(T_{3\text{ж}}s + 1)} = \frac{275,77(0,4176s + 1)}{s(s + 1)(0,019s + 1)}.$$

Так как контур скорости настроен на оптимум по модулю, то передаточная функция замкнутого контура может быть представлена в виде

$$\Phi_{\text{кв}}^{\text{ом}}(s) = \frac{(1/K_{\text{тг}})(T_{\text{тг}}s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{кв}}s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{кв}}s + 1} = \frac{40(0,008s + 1)}{53,7 \cdot 10^{-5}s^2 + 0,0328s + 1}.$$

Передаточная функция неизменяемой части записывается как произведение передаточных функций замкнутого контура скорости и датчика положения

$$W_{\text{н}}(s) = \Phi_{\text{кв}}^{\text{ом}}(s) \cdot K_{\text{дп}} = \frac{(K_{\text{дп}}/K_{\text{тг}})(T_{\text{тг}}s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{кв}}s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{кв}}s + 1} = \frac{1200(0,008s + 1)}{53,7 \cdot 10^{-5}s^2 + 0,0328s + 1}.$$

Передаточная функция регулятора положения может быть представлена в виде отношения желаемой передаточной функции и передаточной функции неизменяемой части электропривода

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{W_{\text{ж}}(s)}{W_{\text{н}}(s)} = \frac{K_{\text{рп}}(T_2s + 1)(T_3s + 1)}{(T_1s + 1)(T_4s + 1)} = \frac{32(0,33s + 1)(0,00028s + 1)}{(4,5s + 1)(0,0025s + 1)}.$$

Исследование полной динамической модели настроенного ЭП (рис. 1) при различных типовых задающих и возмущающих воздействиях подтвердило правильность расчётов и соответствие полученных результатов техническим требованиям задания.

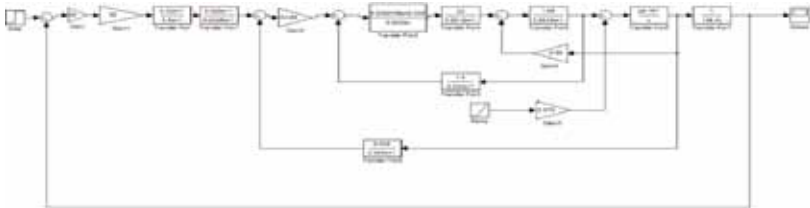


Рис. 1. Структурная схема динамической модели электропривода с регулятором положения

Поскольку система включает интегрирующее звено на выходе, то очевидно, что статическая ошибка будет равна нулю, а скоростная ошибка составляет $0,127^\circ$. Влияние возмущающего воздействия сказывается на динамической точности ЭП, а моментная составляющая ошибки $\Delta\alpha_{\text{уст}}^{\text{м}}$ составляет $0,00103^\circ$.

Литература

1. Бутаков В.М., Баязитов В.О., Дудкин И.М. Расчет характеристик электроприводов // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 4. г. Санкт-Петербург, 2017. С. 94–98.

УДК 621.316.761.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНОГО ЭЛЕМЕНТА

Цибизов Владимир Юрьевич, Кулешова Галина Сергеевна,
Михеев Дмитрий Владимирович
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва, Россия
TsbizovVY@mpei.ru, AlexeenkovaGS@mpei.ru, MikheevDV@mpei.ru

Применение гибридного индуктивно-емкостного элемента (катушки-конденсатора – каткона) позволяет уменьшить массогабаритные параметры фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ). В работе рассмотрен принцип реализации трехфазного пассивного ФКУ на основе данного элемента. Предложено производить расчёт режимов работы устройства с использованием упрощенной синтезированной схемы замещения с сосредоточенными параметрами. Представлены результаты моделирования трехфазного ФКУ на базе каткона в электрической сети 10 кВ с изолированной нейтралью, полученные в программе MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: качество электроэнергии, фильтрация высших гармоник, компенсация реактивной мощности, фильтрокомпенсирующее устройство, катушка-конденсатор, каткон, MATLAB/Simulink.

SIMULATION OF A THREE-PHASE FILTER COMPENSATING DEVICE BASED ON A HYBRID INDUCTIVE-CAPACITIVE ELEMENT

Tsbizov Vladimir Yurievich, Kuleshova Galina Sergeevna, Mikheev Dmitry Vladimirovich

The use of a hybrid inductive-capacitive element (coil-capacitor –coilcap) makes possible to reduce weight and size parameters of filter compensating devices (FCD). The paper considers the principle of implementation of a three-phase passive FCD based on this element. It is proposed to calculate the operating modes of the device using a simplified synthesized equivalent circuit with lumped parameters. The results of modeling a three-phase FCD based on a coilcap in 10 kV power network with an isolated neutral obtained in the MATLAB/Simulink program are presented.

Keywords: power quality, filtering of higher harmonics, reactive power compensation, filter compensating device, coil-capacitor, coilcap, MATLAB/Simulink.

Неудовлетворительные значения показателей качества электрической энергии (ГОСТ 32144-2013) и коэффициента мощности являются причиной снижения надежности, энергетической эффективности и экономичности функционирования электрических сетей и систем электроснабжения потребителей. Применение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) является одним из эффективных вариантов по решению данной проблемы [1]. Перспективным направлением по улучшению технико-экономических показателей ФКУ является применение гибридного элемента – катушки-конденсатора (каткона), обладающего одновременно индуктивными и емкостными свойствами [2].

Гибридный индуктивно-емкостной элемент в простейшем случае выполняется в виде секции (рис. 1, а), конструктивно состоящей из двух проводников в виде фольги 1 и 2 длиной l изолирующим их слоем диэлектрика D [3]. При этом в отличие от обычного конденсатора источник гармонического напряжения $u_{вх}$ подключают к началу первого проводника H_1 и к концу второго проводника K_2 , что приводит к возникновению как токов проводимости, так и токов смещения. Это обуславливает наличие одновременно двух рабочих параметров у каткона – индуктивности и емкости. В зависимости от функционального назначения выходные выводы каткона K_1 и H_2 могут быть разомкнуты или замкнуты накоротко, либо к ним может быть подключена нагрузка.

При создании ФКУ требуемое число секций каткона размещают на магнитопроводе с регулируемыми немагнитными зазорами НЗ, соединяя секции между собой согласно последовательно и оставляя выходные выводы разомкнутыми [4]. Функциональная схема однофазного ФКУ, выполненного по данному принципу в соответствии с патентом [4], представлена на рис. 1, б. Устройство состоит из двух секций C_1 и C_2 , двух П-образных участков магнитопровода M_c немагнитными зазорами НЗ с намотанными катушками коррекции $K1$ - $K4$ (НК – начало вывода, КК – конец вывода). Приведенное конструктивное исполнение каткона в совокупности со средствами автоматики и управления позволяет эффективно канализировать магнитные потоки, варьировать значение его эквивалентной индуктивности, достигать необходимых резонансных частот и реализовывать функциональные схемы для различных инженерных задач [5].

Принцип действия ФКУ на базе каткона аналогичен принципу работы стандартного пассивного ФКУ. На промышленной частоте электрической сети, к которой подключено ФКУ на основе каткона, реализуется компенсация реактивной мощности, а фильтрация гармонических составляющих

ших напряжения и тока осуществляется за счёт настройки каткона в режим резонанса напряжений на частоте соответствующей высшей гармоники [5].

При этом благодаря совмещенному конструктивному исполнению реактора и конденсатора в едином техническом объекте массогабаритные и стоимостные показатели ФКУ могут быть снижены на ~10-20% в сравнении со стандартными аналогами [6].

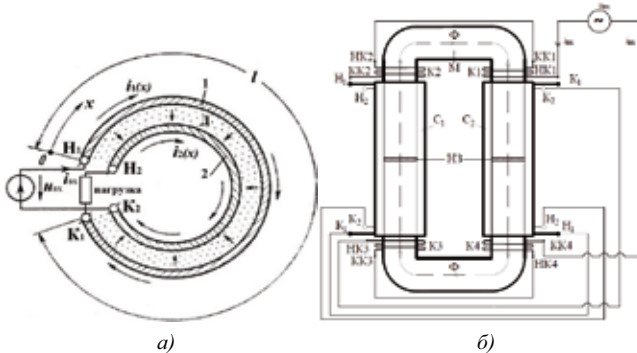


Рис. 1. (а) – секция каткона (вид сверху в разрезе) [3], (б) – функциональная схема каткона с магнитопроводом и катушками коррекции [4]

Отметим, что в общем случае каткон представляется линейной или нелинейной электрической цепью с распределенными параметрами, что существенно затрудняет математическое описание электромагнитных процессов в нем [7]. В этой связи в [3] была получена упрощенная схема замещения каткона с эквивалентными сосредоточенными параметрами, изображенная на рис. 2(выходные выводы разомкнуты). Она может быть применима и к ФКУ на базе каткона, что продемонстрировано в [7].

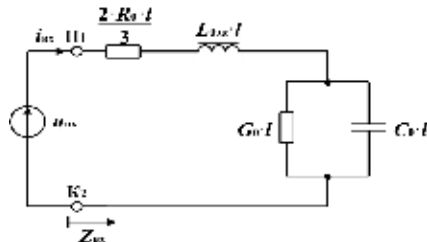


Рис. 2. Синтезированная относительно выводов H_1 и K_2 схема замещения ФКУ на базе каткона с эквивалентными сосредоточенными параметрами

При построении трехфазного ФКУ на базе каткона возможны следующие варианты:

- создание трехфазной системы из трех однофазных катконов с собственными магнитными системами (рис. 1, б);
- создание трехфазной системы за счет размещения необходимого количества секций (рис. 1, а) на одном Ш-образном магнитопроводе.

Рассмотрим схему присоединения трехфазного ФКУ на базе каткона (схема соединения – «звезда») к сети с изолированной нейтралью и симметричной нагрузкой (рис. 3, а). Так как нагрузка симметрична, то представим эту схему в более компактном виде «на одну фазу» (рис. 3, б).

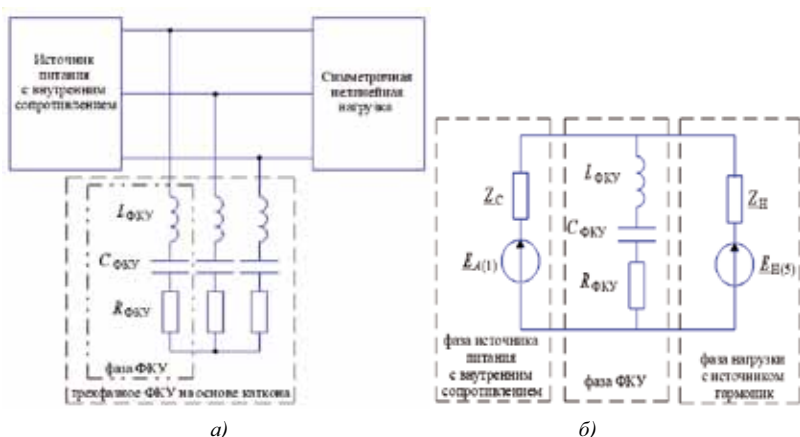


Рис. 3. Схема подключения трехфазного ФКУ на базе каткона к сети

Для расчета установившегося режима работы ФКУ в электрической сети среднего класса напряжения (10 кВ) применялась программа MATLAB/Simulink. Электрическая сеть моделируется синусоидальным источником напряжения и эквивалентным комплексным сопротивлением $Z_c = 1 + j2\pi \cdot k \cdot f \cdot L_c$ Ом ($L_c = 10$ мГн), а потребитель – линейной активно-индуктивной нагрузкой ($Z_H = 50 + j2\pi \cdot k \cdot f \cdot L_H$ Ом, $L_H = 150$ мГн) и источником гармонического напряжения, создающим высшую гармонику ($k = 5$).

Для выполнения компенсации реактивной мощности и фильтрации пятой гармоники напряжения потребителя ($k = 5$) параллельно к нагрузке подключается ФКУ на базе каткона (схема замещения – рис. 2) со следующими эквивалентными сосредоточенными параметрами: $L_{ФКУ} = 9,8$ мГн, $C_{ФКУ} = 41,3$ мкФ, $R_{ФКУ} = 0,05$ Ом, $G_{ФКУ} = 0$ См (значением

$G_{\text{ФКУ}}$ пренебрегаем, так как оно несоизмеримо мало в сравнении с остальными параметрами). На рис. 3 приведена схема электрической цепи в программе MATLAB/Simulink для моделирования работы ФКУ в установившемся режиме. Результаты компьютерного моделирования приведены в табл. 1.

Полученные результаты подтверждают возможность применения гибридного индуктивно-емкостного элемента (каткона) для решения задач компенсации реактивной мощности и фильтрации гармонических составляющих напряжения и тока в электрических сетях 6–10 кВ.

Таблица 1

Результаты компьютерного моделирования режимов работы ФКУ на базе гибридного индуктивно-емкостного элемента

| Характеристика | ФКУ не подключено | ФКУ подключено |
|---|---|---|
| Параметры источника | $E_{m(1)} = \sqrt{2} \cdot \frac{10000}{\sqrt{3}} \text{ В} = 8165 \text{ В}$ $R_c = 1 \text{ Ом}, L_c = 10 \text{ мГн}$ | $E_{m(1)} = \sqrt{2} \cdot \frac{10000}{\sqrt{3}} \text{ В} = 8165 \text{ В}$ $R_c = 1 \text{ Ом}, L_c = 10 \text{ мГн}$ |
| Амплитудное значение напряжения на выходе источника | $U_{cm(1)} = 7834 \text{ В}$ $U_{cm(5)} = 429,7 \text{ В}$ | $U_{cm(1)} = 8164 \text{ В}$ $U_{cm(5)} = 1,3 \text{ В}$ |
| Параметры приемника | $U_{nm(5)} = 7000 \text{ В}, k = 5, f = 250 \text{ Гц},$ $R_H = 50 \text{ Ом}, L_H = 150 \text{ мГн}$ | |
| Амплитудное значение входного тока | $I_{1m(1)} = 114 \text{ А}$ $I_{1m(5)} = 27,3 \text{ А}$ | $I_{1m(1)} = 91,22 \text{ А}$ $I_{1m(5)} = 0,1 \text{ А}$ |
| Амплитудное значение тока в нагрузке | $I_{3m(1)} = 114 \text{ А}$ $I_{3m(5)} = 27,3 \text{ А}$ | $I_{3m(1)} = 118,8 \text{ А}$ $I_{3m(5)} = 29,04 \text{ А}$ |
| Амплитудное значение тока в ФКУ | – | $I_{2m(1)} = 110,3 \text{ А}$ $I_{2m(5)} = 29 \text{ А}$ |
| $Z_{\text{ФКУ}(1)}, \text{ Ом}$ | – | $0,05 - j73,996$ |
| $Z_{\text{ФКУ}(5)}, \text{ Ом}$ | – | $0,05 - j0,015$ |
| $\cos\varphi_{(1)}$ нагрузки, о.е. | 0,73 | 0,95 |
| $K_{U(5)} = U_{c(5)}/U_{c(1)}, \%$ | 5,5 | 0,02 |
| $K_{I(5)} = I_{1(5)}/I_{1(1)}, \%$ | 23,95 | 0,11 |
| Потери активной мощности в питающей линии, кВт | 6,9 | 4,2 |
| Отклонение напряжения, % | 4,1 | 0,01 |

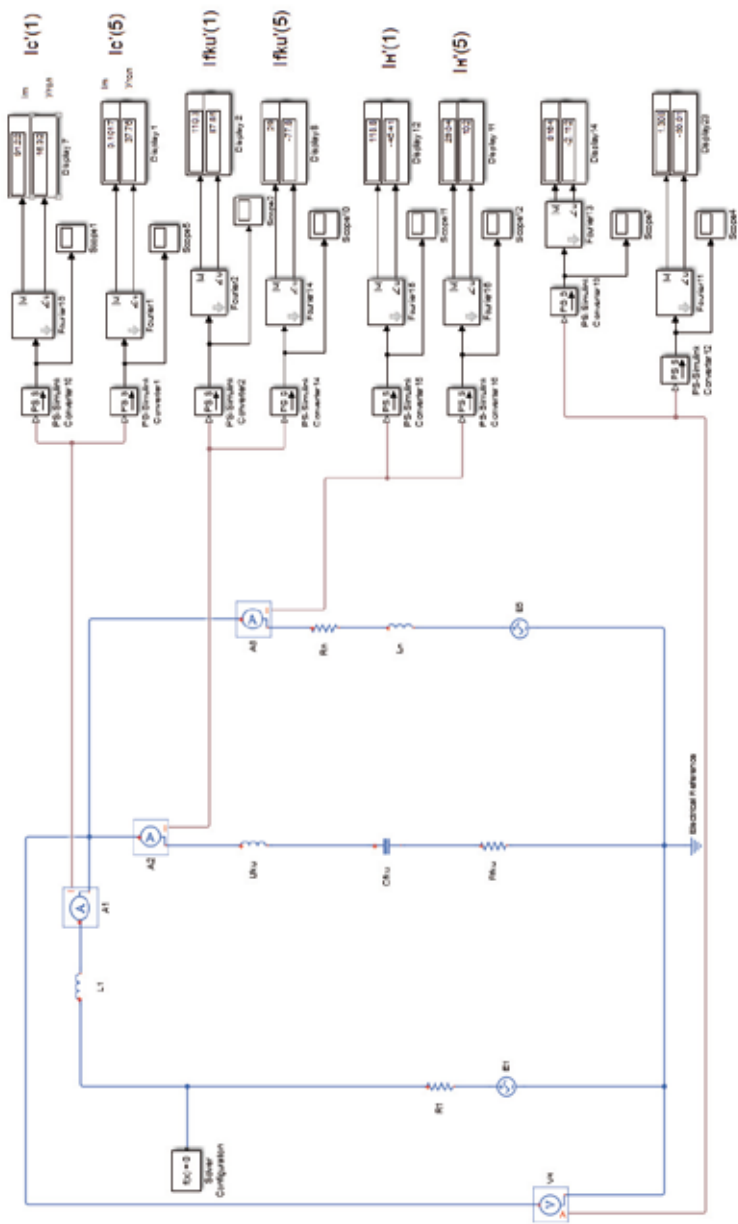


Рис. 3. Схема электрической цепи в MATLAB/Simulink после подключения ФКУ на базе гибридного индуктивно-емкостного элемента каткона)

Обладая идентичной с узкополосным дискретным пассивным ФКУ схемой замещения и выполняя те же функции, предлагаемое ФКУ на базе каткона основано на другом физическом принципе и имеет иную техническую конфигурацию и конструктивное исполнение, объединяя функции реактора и конденсатора в едином компактном объекте, благодаря чему достигается улучшение технико-экономических показателей устройства. Эффективность использования ФКУ на основе каткона определяется его добротностью, уровнем потерь активной мощности, и кроме того, зависит от применяемых средств регулирования его параметров и управления его режимами, что особенно важно при эксплуатации ФКУ в распределительных сетях и системах электропитания с переменной и несимметричной нагрузкой [5].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00730 А.

Литература

1. Ольшванг М.В., Рычков Е.В., Ананишвили К.Е. и др. Фильтрокомпенсирующие цепи статистических компенсаторов // *Электричество*, 1990. № 1. С. 23–29.
2. Волков И.В., Закревский С.И. Преобразователь с распределенными параметрами для стабилизации тока в переменной нагрузке // *Электричество*, 1984. № 10. С. 40–43.
3. Демирчян К.С., Гусев Г.Г. Синтез схем замещения катушки индуктивности с самокомпенсацией реактивной мощности // *Известия АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт*, 1987. № 2. С. 3–10.
4. Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Карпунина М.В., Кваснюк А.А., Михеев Д.В., Шакирзянов Ф.Н. Патент 2714925 РФ, МПК H02J 3/01 (2006.01). Фильтрокомпенсирующее устройство, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2019128529; заявл. 11.09.2019, опубл. 21.02.2020. Бюл. № 6.
5. Михеев Д.В., Кулешова Г.С. Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование фильтрокомпенсирующего устройства на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента // *Промышленная энергетика*, 2020. № 12. С. 9–16.
6. Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Кужман В.В. и др. Математическая модель фильтрокомпенсирующих устройств на основе гармонической линеаризации характеристики магнитопровода каткона // *Вестник МЭИ*, 2015. № 5. С. 79–84.

7. Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Михеев Д.В. и др. Моделирование переходных процессов в катушке-конденсаторе при импульсном воздействии // Известия РАН. Энергетика, 2019. № 1. С. 109–122.

8. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Проблемы энергетики, 2019. Т. 21, № 4. С. 66–76, DOI:10.30724/1998-9903-2019-21-4-66-76.

УДК 621.548

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ ТЕНЕВОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВОК НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Чепига Андрей Александрович, Корытченкова Елена Евгеньевна, Али Юсеф, Анучин Алексей Сергеевич
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», г. Москва,
andreichepiha@gmail.com, e.e.korytchenkova@gmail.com,
joseph86.ali@gmail.com, anuchinas@mpei.ru

В данной работе представлен алгоритм компенсации теневого эффекта ветроустановки с синхронным генератором с постоянными магнитами. Метод основан на принципах векторного регулирования и обеспечивает компенсацию колебаний мощности ветрового потока, что, соответственно, позволяет снизить уровень колебаний активной мощности генератора. В методе используется алгоритм настройки контуров тока, скорости и регулирования поворота лопасти ветрогенератора, позволяющие решить проблему эффекта затенения башни. Полученные с помощью предложенного метода данные могут быть использованы для эффективного моделирования работающих параллельно с сетью ветроустановок и оптимизации их параметров.

Ключевые слова: ветроустановка, синхронный генератор с постоянными магнитами, векторное регулирование, активная мощность, контур тока, контур скорости, контур регулирования поворота лопасти, эффект затенения башни.

DESIGN OF A SHADOW EFFECT COMPENSATION STRATEGY FOR WIND TURBINES BASED ON A SYNCHRONOUS GENERATOR WITH PERMANENT MAGNETS

Chepiga Andrey Aleksandrovich, Korytchenkova Elena Evgeniyevna, Ali Yousef, Anuchin Alecksey Sergeevich

This paper presents a method for stabilizing the active power of a wind turbine driving a permanent-magnet synchronous generator. The method is based on the principle of vector control and provides compensation for power fluctuations of the wind flow, which allows to reduce the level of active power deviation of the generator. The method implements control

algorithm for current loop, speed loop and blade pitch loop to solve the problem of the tower shadow effect. The proposed method can be used for simulation of wind turbines operating in parallel with the grid and optimization of their parameters.

Keywords: power control, wind energy, permanent magnet machines, machine vector control, control system synthesis, pitch control.

С увеличением количества ветровых станций и их установленной мощности возникает ряд вопросов, требующих дополнительных исследований. Так, при параллельной работе ветроэлектростанций с энергосистемой в ряде случаев не обеспечивается качество напряжения из-за колебаний мощности, выдаваемой в сеть [1]. Причиной этого может быть как нестабильность скорости ветра, так и конструктивные особенности ветроустановок [2]. Актуальным решением этой задачи является совершенствование системы регулирования и разработка методов математического моделирования режимов работы ветроэнергетических установок.

В ветроэнергетических системах используются различные типы машин. Наиболее распространенным из них, используемым в ветрогенераторах, является синхронный генератор с постоянными магнитами, поскольку он обеспечивает хорошую производительность в широком диапазоне скоростей.

В данной статье на базе синхронного генератора с постоянными магнитами описан синтез регулирования ветрогенераторной установки с учетом эффекта затенения и спектральной модели ветра Ван дер Ховена, которая способна обеспечивать режим стабилизации мощности путем использования принципов векторного регулирования.

Описание разработанного алгоритма

Перед началом анализа динамических свойств системы регулирования следует проанализировать природу колебаний мощности ветроколеса, которые вызываются как свойствами ветрового потока, так и конструктивными особенностями ветроустановок. В изученных работах [3] показано, что поведение скорости ветрового потока может быть описано как сумма низкочастотной и турбулентной компонент согласно спектральной модели Ван дер Ховена по следующей формуле:

$$v(t) = v_s(t) + v_t(t), \quad (1)$$

где v_s – низкочастотная компонента; v_t – высокочастотная (турбулентная) компонента скорости ветра.

Периодические изменения приводного момента ветроколеса, вызванные эффектом затенения башни, также можно воспринимать как

последствия колебаний скорости ветра, хотя причина этих колебаний не в природе ветра, а в особенностях конструкции ветроустановки. Именно благодаря особенностям конструкции, лопасти ветроколеса по очереди пересекают зону затенения трубчатой башни, оказываясь в безветренной зоне. Это и приводит к колебаниям момента ветроколеса на частоте $1 \div 2$ Гц, в зависимости от скорости его вращения. Следует отметить, что такая частота значительно усиливает воздействие возмущающего фактора на систему регулирования.

Для обеспечения компенсации колебаний мощности ветрового потока необходимо использовать быстродействующую систему регулирования, потому что механическая система регулировки pitch-угла не в состоянии обеспечить качественную стабилизацию выходной мощности [4].

Для решения этой задачи целесообразно использовать быстродействующую систему векторного регулирования, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

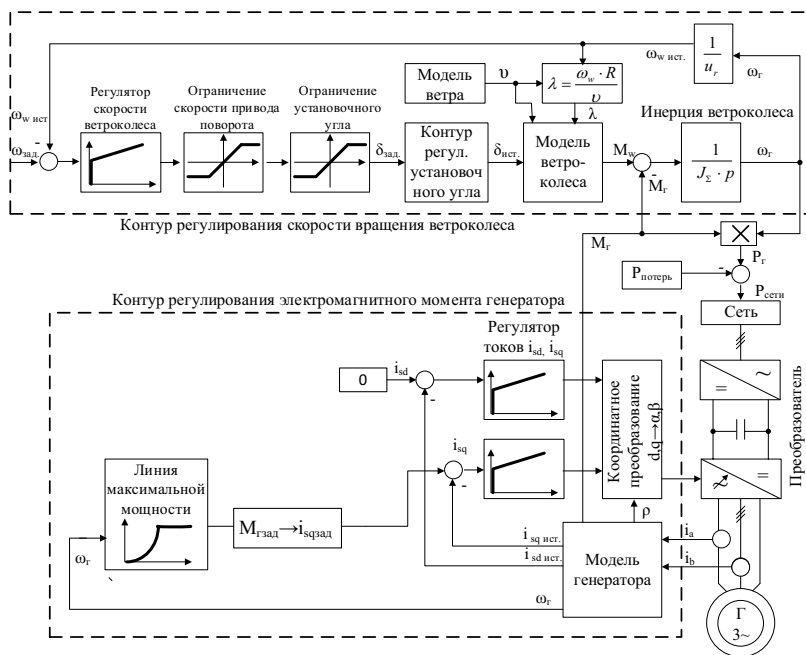


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной системы стабилизации активной мощности ветроустановки

Приведенная система регулирования может применяться для ветроустановки с переменной скоростью вращения ветроколеса, что обеспечивается за счет использования преобразователя частоты. В этой системе задача регулирования скорости вращения ветроколеса и момента генератора разделена между двумя контурами.

Регулирование скорости вращения ветроколеса осуществляется за счет изменения pitch-угла. Регулирование момента осуществляется во вращающейся системе координат d-q, вещественная ось d которой связана с вектором потока ротора. Необходимые обратные связи в системе регулирования обеспечиваются моделью генератора, которая базируется на уравнениях статора и ротора синхронной машины, записанных для вращающейся системы координат [5].

Ввиду малого значения постоянной времени современных преобразователей частоты, работающих с высокими частотами модуляции до 20 кГц, контур регулирования моментобразующей компоненты тока статора имеет большое быстродействие, которое является достаточным для компенсации колебаний возмущающего воздействия.

Передаточная функция и значение коэффициентов регулятора скорости вращения ветроколеса определяются согласно симметричному оптимуму:

$$\begin{cases} G_{\omega R}(p) = \frac{T_{reg} \cdot p + 1}{T_{\omega 0} \cdot p}; \\ T_{reg} = 4.25 \cdot T_s; \\ T_{\omega 0} = \frac{8.5 \cdot T_s^2 \cdot k_{ws}}{J}, \end{cases} \quad (2)$$

где T_s – постоянная времени статора; J – момент инерции генератора; k_{ws} – коэффициент передачи модели ветроколеса, который связывает значение установочного угла лопасти со значением момента ветроколеса, причем значение этого коэффициента должно постоянно определяться системой по причине нелинейной зависимости коэффициента мощности ветроколеса – c_{pw} от pitch-угла.

После применения коэффициентов регулятора согласно формуле (2) можно получить значения передаточной функции замкнутого контура регулирования скорости вращения ветроколеса по отношению к возмущающему воздействию, которым являются колебания момента ветроколеса, обусловленные колебаниями скорости ветра. Этот контур

представляет собой звено 3-го порядка, но после упрощения его передаточная функция приобретает вид:

$$G_n(p) \approx \frac{1}{J} \cdot \frac{8,5 \cdot T_s^2 \cdot p}{4,25 \cdot T_s \cdot p + 1}. \quad (3)$$

При условии допущения, что сигнал возмущающего влияния изменяется по закону, близкому к синусоидальному, с частотой колебаний, обусловленных эффектом затенения башни, на основе передаточной функции (3) можно составить дифференциальное уравнение, которое будет связывать скорость вращения ветроколеса – ω_w с амплитудой A и частотой колебаний ω_k возмущающего воздействия:

$$\frac{d\omega_w(t)}{dt} + \frac{1}{4,25 \cdot T_s} \cdot \omega_w(t) = \frac{2 \cdot A \cdot \omega_k \cdot T_s}{J} \cdot \cos(\omega_k \cdot t). \quad (4)$$

Решив данное уравнение (6) относительно скорости вращения ветроколеса – $\omega(t)$, получим выражение:

$$\omega_w(t) = \frac{2 \cdot A \cdot \omega_k \cdot T_s}{J} \cdot \left(\frac{\frac{1}{4,25 \cdot T_s} \cos(\omega_k \cdot t) + \omega_k \sin(\omega_k \cdot t)}{\left(\frac{1}{4,25 \cdot T_s} \right)^2 + \omega_k^2} \right). \quad (5)$$

Результаты моделирования. Амплитуда колебаний возмущающего воздействия, вызванных эффектом затенения башни, может достигать величины порядка 15 % от значения номинального момента ветроколеса при снижении скорости ветра в секторе затенение в 2 раза. Следовательно, при частоте колебаний возмущения – $f_k \approx 1$ Гц, постоянной времени контура скорости поворота лопасти – $T_s = 0,025$ с и суммарном моменте инерции ветроколеса – $J = 1468$ кг·м² на основании формулы (5) можно оценить амплитуду колебаний скорости вращения генератора, которая будет равняться примерно 0,3 % от его номинальной скорости. При указанном уровне амплитуды колебаний скорости вращения 0,3 %, амплитуда колебаний активной мощности не превысит значения 1 %.

Результаты моделирования процесса стабилизации мощности генератора при колебаниях скорости ветра в программном пакете MATLAB продемонстрированы на рисунке 2.

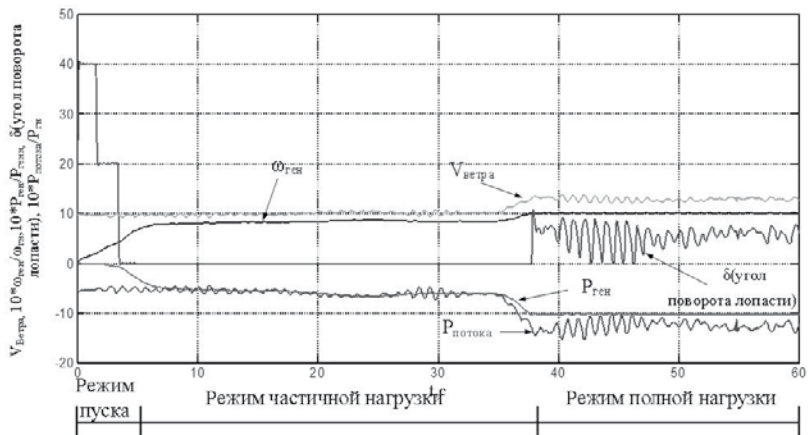


Рис. 2. Поведение ветрогенераторной установки в основных режимах работы (активная мощность генератора $P_{ген}$, мощность ветрового потока $P_{поток}$, скорость вращения генератора $\omega_{ген}$, скорость ветра $V_{ветра}$, угол поворота лопасти δ)

На данном графике видно, что в режиме частичной нагрузки мощность генератора по среднему значению ($P_{ген}$) пытается повторить поведение мощности ветрового потока ($P_{поток}$), при этом ветроколесо работает с максимальным расчетным коэффициентом мощности. В режиме полной нагрузки, то есть после достижения скорости вращения генератора своего номинального значения, активная мощность генератора становится меньше, чем мощность ветрового потока, включается контур регулирования поворота лопасти, и значения мощности и скорости генератора ограничиваются на уровне номинала, что выполняется благодаря регулированию угла поворота лопасти δ , который в режиме частичной нагрузки был равным нулю.

Выводы: использование двухконтурной системы стабилизации мощности ветроустановки, в которой функции регулирования скорости вращения ветроколеса и момента генератора распределены между системой pitch-регулирования и системой векторного регулирования соответственно, позволяет снизить уровень колебаний активной мощности генератора, обусловленных в большей степени эффектом затенения башни, примерно на порядок по сравнению с концепцией прямого подключения синхронного генератора к сети, что, безусловно, положительно сказывается на качестве сетевого напряжения с точки зрения соответствия его международным требованиям.

Литература

1. Lumbreras C., Guerrero J.M., Fernandez D. «Analysis and Control of the Inductorless Boost Rectifier for Small Power Wind Energy Converters» IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, pp. 689–700, Jan.–Feb. 2019.
2. Lebioda A., Rudion K., Orths A. «Investigation of disposable reserve power in a large-scale wind farm» 2005 IEEE Russia Power Tech, 27–30 June 2005.
3. Ebrahimzadeh E., Blaabjerg F., Wang X. «Reducing Harmonic Instability and Resonance Problems in PMSG-Based Wind Farms», IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 6, pp. 73–83, March 2018.
4. Rigatos G., Zervos N., Serpanos D. «Condition Monitoring of Wind-Power Units Using the H-Infinity Kalman Filter». 2019 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), 18–20 March 2019.
5. Bianchi N., Lorenzoni A., «Permanent magnet generators for wind power industry: an overall comparison with traditional generators». International Conference on Opportunities and Advances in International Power Generation, 18-20 March 1996.
6. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатов О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. Т. 20. № 11–12. С. 99–106.

УДК 621.316.925

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОБЫТИЙНЫХ ПРОТОКОЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Чумаров Сергей Геннадьевич, Герасимов Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, Россия
chumarov@mail.ru, sasha029902@gmail.ru

В работе рассмотрены применяемые в электроэнергетике событийные протоколы МЭК 60870-5-101 и МЭК 60870-5-104 для передачи двухбитовых сигналов управления и двухбитовых сигналов для мониторинга состояния коммутационными аппаратами. Приведен пример передачи сообщения по МЭК 60870-5-104, а также пример управления коммутационными аппаратами по протоколу МЭК 60870-5-104.

Ключевые слова: передача данных, электроэнергетика, протоколы, МЭК 60870-5-101, МЭК 60870-5-104, коммутационные аппараты, дискретные сигналы.

FEATURES OF APPLICATION OF EVENT PROTOCOLS FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS

Chumarov Sergey Gennadievich, Gerasimov Alexander Sergeevich

The article deals with the event protocols IEC 60870-5-101 and IEC 60870-5-104 used in the electric power industry for transmitting double command control signals and double command signals for monitoring the state of switching devices. An example of message transmission according to IEC 60870-5-10, as well as an example of controlling switching devices according to the IEC 60870-5-104 protocol is given.

Keywords: data transfer, electric power, data transfer protocols, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, switching devices, discrete signals.

В прошлом веке были разработаны специальные событийные протоколы передачи данных стандарта МЭК 60870-5, которые остаются актуальными и на сегодняшний день. Хотя и больше всего используется протокол МЭК 61850 [1], МЭК 60870 всё еще остается популярным. В данной работе рассмотрены протоколы передачи данных МЭК 60870-5-101 и МЭК 60870-5-104.

Протокол МЭК 60870-5-101 – протокол телемеханики, предназначен для передачи сигналов телемеханики в АСТУ, контроля и управления энергосистемами, связанных с коммуникацией для телеуправления [2]. Данный протокол также служит в целях телезащиты и связанных телекоммуникаций для электроэнергетических систем. Стандарт МЭК 60870-5-101 полностью совместим с протоколами от МЭК 60870-5-1 до МЭК 60870-5-5. Протокол использует стандартный интерфейс асинхронного последовательного канала телеуправления между DTE и DCE. Данный стандарт подходит для различных видов соединений для таких как: точка-точка, соединение типа звезда, многоточечный и т. д. Для точной синхронизации между устройствами могут быть использованы протоколы NTP и RTP [3]. При большом расстоянии между устройствами применяют ВЧ-связь [4] или же, в случае предъявления требований к безопасности, пропускной способности и энергоэффективности [5], волоконно-оптические линии связи. Также данный протокол поддерживает передачу данных по беспроводной связи.

Протокол построен на архитектуре «клиент-сервер» и служит для передачи данных по последовательным линиям связи RS-232/485.

У данного стандарта есть множество преимуществ. Он поддерживает несбалансированный и сбалансированный режимы передачи данных. Есть возможность классификации данных по различным группам для получения данных в соответствии с опросом определенной группы, а также есть

возможность получить данные по всем имеющимся группам. Данные можно получать как циклически, так и спонтанно.

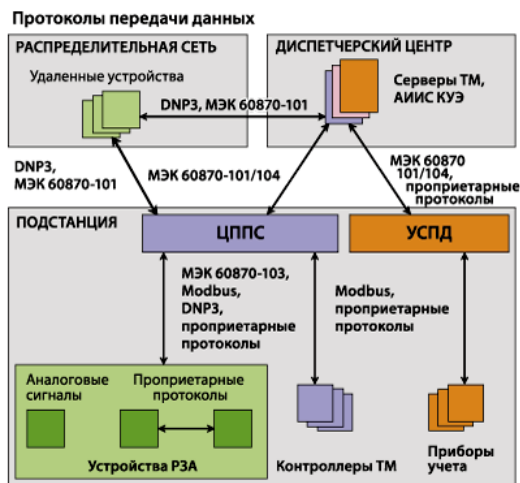


Рис. 1. Общая принципиальная схема организации передачи данных

Протокол МЭК 60870-5-104 является более расширенным протоколом по сравнению с протоколом МЭК 60870-5-101. Он использует те же ASDU, что и 101-й, но регламентирует использование протокола в сетях TCP/IP, т.е. он формализует инкапсуляцию блока ASDU из 101 в стандартные сети TCP/IP. При этом стандарты МЭК 60870-5-101/104 не подразумевают наличие семантической модели данных.

В электроэнергетических системах протокол МЭК 60870-5-104 чаще всего применяется для передачи дискретных сигналов состояния, а также двухбитовых сигналов, служащих для управления коммутационными аппаратами. Данный протокол также используется для просмотра и скачивания осциллограмм из устройств РЗА при помощи назначенных для него специальных адресов [6].

Целью исследований являлось управление коммутационными аппаратами, предназначенными для включения или отключения тока в одной или нескольких электрических цепях по протоколу МЭК 60870-5-104, а также контроль за состоянием работы коммутационного оборудования. Для этого на контролирующем устройстве были сформированы два двухбитовых сигнала и привязаны к адресу C_DC_TA_1 (59), который

служит для управления, и к адресу M_DP_TV_1 (31), который использовался для контроля за состоянием коммутационного аппарата. Далее управляющий двухбитовый сигнал был передан на приемное управляющее устройство, находящееся на расстоянии 1 м, которое в свою очередь управляет коммутационным аппаратом. Далее обратно от управляющего устройства был передан двухбитовый сигнал состояния коммутационного аппарата для удостоверения переключения коммутационного аппарата в нужный режим. Как видно из статуса первой команды, представленным на рис. 2, управление коммутационным аппаратом успешно осуществляется. Из статуса второй команды можно увидеть, что состояние коммутационного аппарата изменилось с “off” на “on”, что подтверждает перевод коммутационного аппарата в требуемый нами режим. Подключение между управляющим коммутационными аппаратами устройством и контролирующим было осуществлено по протоколу Ethernet.

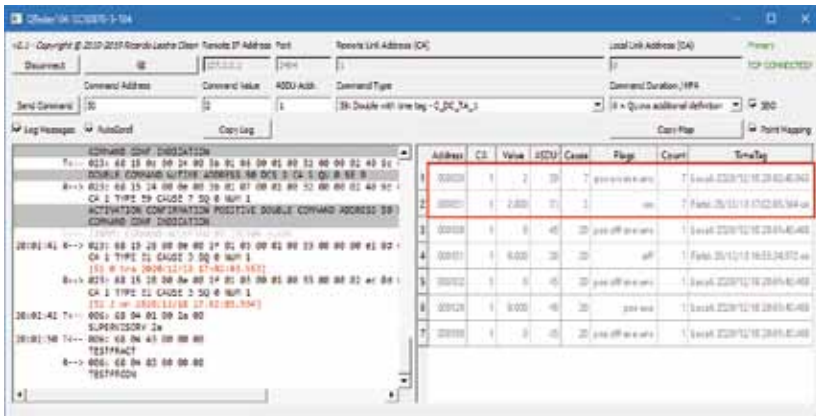


Рис. 2. Управление коммутационным аппаратом по протоколу МЭК 60870-5-104

В работе рассмотрены особенности применения событийных протоколов МЭК 60870-5-101 и МЭК 60870-5-104 в разных сетях. Экспериментальные исследования по управлению и контролю состояния коммутационными аппаратами по протоколу МЭК 60870-5-104 показали, что с помощью двухбитовых сигналов, назначенных на требуемые по стандарту адреса, можно управлять коммутационными аппаратами, а назначенный на контроль за состоянием позволяют оценивать их состояние по сетям Ethernet как и описано в стандарте.

Литература

1. Чумаров С.Г., Герасимов А.С. Анализ протоколов передачи данных для систем электроэнергетики // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы VI Межд. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. С. 34–37.
2. Баглейбтер О.И. Трансформатор тока в сетях релейной защиты. Противодействие насыщению ТТ апериодической составляющей тока КЗ // Новости ЭлектроТехники, 2008. № 5 (53).
3. Чернов В.К., Чумаров С.Г. Применение протоколов NTP и RTP для интеллектуальных электронных устройств в энергетике // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: мат. III Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 228–231.
4. Чумаров С.Г., Федорова А.В. Высокочастотная связь как способ резервирования каналов связи по волоконно-оптическим линиям связи // Моделирование и анализ сложных технических и технологических систем: сборник статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак: АМИ, 2018. С. 137–139.
5. Чумаров С.Г. Исследование энергопотребления в пассивных оптических сетях // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2014: Материалы XV Международной научно-технической конференции. Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2014: Материалы XII Международной научно-технической конференции. – Т. 3 Казань, 18-21 ноября 2014 года. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2014. С. 310–312.
6. Schaub P., Haywood J., Ingram D., et al. Test and Evaluation of Non Conventional Instrument Transformers and Sampled Value Process Bus on Powerlink's Transmission Network. SEAPAC 2011. CIGRE Australia Panel B5.

Секция 4. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СВЕТОТЕХНИКА

УДК 621.311

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОВЫМ ПОТОКОМ АВТОДИММИРУЕМЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Абдуллина Гузель Рушанована, Денисова Алина Ренатовна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
abdullinaguzel081997@gmail.com, denisova_ar@mail.ru

В данной статье была рассмотрена возможность замены обычных светильников на светильники с автодиммированием, а также рассмотрена конструкция и принцип работы данных светильников.

Ключевые слова: светильник, диммер, энергосбережение, энергоэффективность, светодиод, лампа.

ALGORITHM FOR CONTROLLING THE LIGHT FLOW OF AUTO-DIMMABLE LED LAMPS

Abdullina Guzel Rushanovna, Denisova Alina Renatovna

In this article, the possibility of replacing conventional luminaires with auto-dimming luminaires was considered, as well as the design and principle of operation of these lamps.

Keywords: lamp, dimmer, energy saving, energy efficiency, LED, lamp.

В наше время нет подобной отрасли промышленности или же отрасли хозяйства, где бы отсутствовала потребность в искусственном освещении. Система освещения считается одной из наиглавнейших элементов любого производства, благодаря которой поддерживаются хорошие условия труда и безопасность персонала [1]. Естественно, мы знаем, что все составляющие искусственного освещения, потребляют электроэнергию, за которую приходится платить. Абсолютно каждое предприятие желает сберечь энергию и вследствие этого, наиболее наилучшим вариантом считается автоматизация освещения.

Автоматическая система управления освещением это комплекс технологических решений, гарантирующие необходимое количество света в необходимое время и в нужном помещениях. Автоматизация освещения считается одним из 3-х ключевых факторов, нацеленных на оптимизацию освещения – наряду с переходом на энергоэффективные лампы и правильным месторасположением осветительных устройств [2].

Для решения проблем с энергосбережением освещения представляем автоматизированную систему управления освещением, которая уменьшает свет от каждого светильника при наличии на рабочей поверхности нужной естественной освещенности, что влечет существенную экономию электроэнергии в дневное время. Система интегрируется в каждый светильник, не требуя обвязки слаботочным кабелем, и осуществляет независимое регулирование светильников.

Принцип работы базируется на функции автодиммирования. Для работы в автоматическом режиме в стандартную схему каждого светодиодного светильника добавляется контроллер и оптический фотодатчик. Программа регулирует мощность светильника в зависимости от интенсивности естественного света, проникающего в помещение [3]. Она уменьшает световой поток светильника на такую же относительную величину и освещенность под светильником остается в пределах нормы. Большое достижение, что световой поток светильника изменяется плавно, без скачков и незаметно человеческому глазу.

Технические условия для светильников с автодиммированием: любые здания и сооружения, все помещения: офисные и производственные, куда поступает естественный свет (через окна). Самое важное в данных светильниках – это датчики с функцией автодиммирования [4].

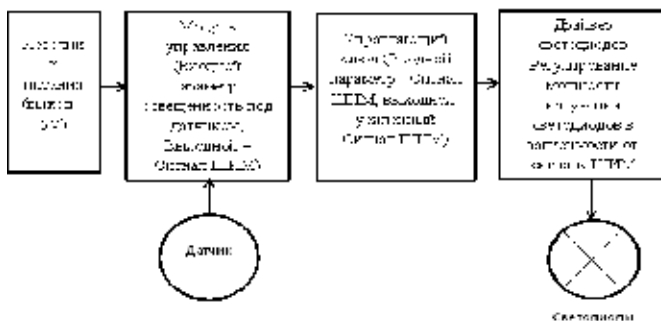


Рис. 1. Блок-схема автоматического регулирования светового потока светильника

Система автоматического регулирования светового потока включает в себя ряд устройств, подключенных к светильнику с возможностью регулирования (светодиодный светильник), которые автоматически поддерживают освещенность на рабочей поверхности на нормируемом уровне, уменьшая или повышая световой поток светильника [5]. Для работы в автоматическом режиме в стандартную схему каждого светодиодного

светильника добавляется контролер и оптический фотодатчик. Оптический фотодатчик направлен на рабочую поверхность под светильником, чтобы максимально точно измерять величину освещенности [7].

Основу разработки составляет программа, функционирующая по определённому алгоритму и реализующая задуманный сценарий. Программа регулирует мощность светильника в зависимости от интенсивности естественного света, проникающего в помещение. Она уменьшает световой поток светильника на такую же относительную величину и освещенность под светильником остается в пределах нормы. Разработанная программа управления системы ведет расчеты в относительных величинах и является самообучаемой, поэтому она не требует калибровки и дальнейшей поверки. В течение всего срока службы система будет поддерживать нормируемый уровень освещённости, несмотря на деградацию светодиодов и ухудшение свойств рассеивателя светильника [6].

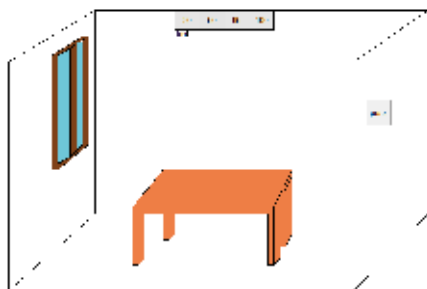


Рис. 3. Визуализация программы

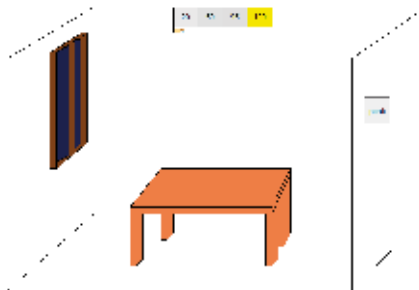


Рис. 4. Визуализация программы при включении светильников ночью

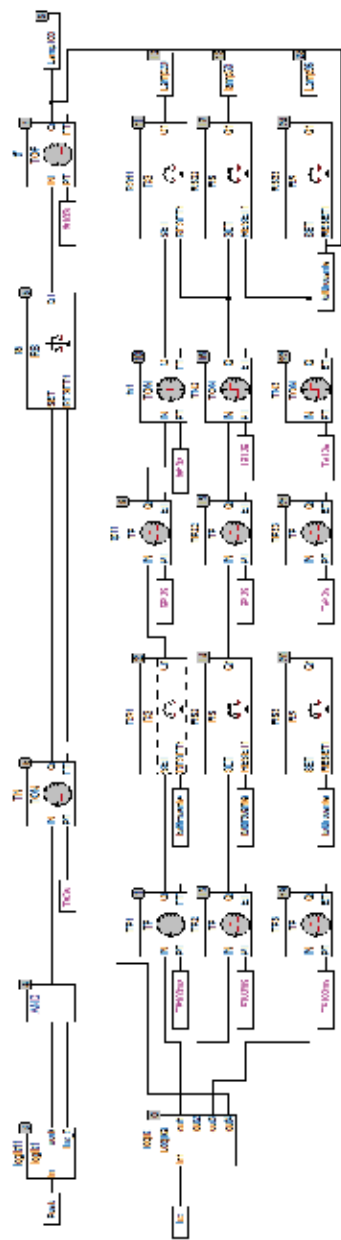


Рис. 2. Программа светильника

Для данных светильников была разработана программа в среде CODESYS. Работа заключается в изменении мощности светильника при определенном уровне естественного света из окна. Задаем 4 значения естественной освещенности, при которых светильник будет изменять свою мощность. Допустим, 1500 лк в 12:00, 750 лк в 17:00, 200 лк в 20:00 и 0 лк ночью. При освещенности 1500лк лампа будет гореть на 20 % своей мощности, при 750лк на 50 %, при 200лк на 95 % и при 0лк на 100 %. Изначально светильник включается на 100 % своей мощности. Датчик подает сигнал на контроллер о том, что изменилась освещенность, а тот, в свою очередь, изменяет мощность работы лампы. При нажатии кнопки пуск через 3 секунды загорается лампа на 100 %. Далее, допустим светильник включили днем в 12 дня, где освещенность из окна на рабочую поверхность составляет 1500 лк, значит светильник через 10 секунд включится на 20 % и так далее [8].

Использование светильников с датчиками диммирования решает многие проблемы, улучшает качество освещения и будут наиболее безопасны для человека [9].

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 10 ноября 2017 г. N 1356 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» (в его редакции от 03.11.2018 № 1312).
2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях // Учебное пособие с грифом УМО. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010.
3. Денисова А.Р., Абдуллина Г.А. Алгоритм энергоэффективного управления электротехническими системами // Сборник V национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» (12–13 декабря 2019 г.). Под общ. ред. гос. энерг. ун-т, 2019.
4. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.
5. Иванова В.Р., Садыков М.Ф. Современные светодиодные технологии // монография в двух томах «Наноматериалы и нанотехнологии

в энергетике», ФГБОУ ВПО «Казанский Государственный энергетический университет». Под ред. Э.В. Шамсутдинова и О.С. Зуевой. Казань, 2014. Т. II, С. 178–201.

6. Борисов А.Н., Шириев Р.Р. Светодиодный источник света с повышенной светоотдачей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1–2. С. 111–119.

7. Тукшаитов Р.Х., Алхамс Я.Ш., Нигматуллин Р.М. и др. Методика обеспечения энергосберегающего режима работы портативных светодиодных светильников в экспериментальных условиях их эксплуатации // Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2013.

8. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллыязнова, Э.В. Шамсутдинова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

9. Цырук С.А., Лисицын И.Д. Энергосберегающие источники света и инновационный подход к построению систем искусственного освещения объектов ЖКХ // Материалы всероссийской научно-методической конференции «Наука. Технология. Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий» Салават, 2019. С. 196–202.

УДК 620.91

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КЭ-650 ДЛЯ ОТДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ

¹Альзаккар Ахмад Мухаммед-Насер, ²Местников Николай Петрович,
³Алхадж Фoad Хассан

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия

²ФГБОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова», г. Якутск, Россия

³ФГБОУ ВО «Институт физико-технических проблем Севера СО РАН»,
г. Якутск, Россия
ahmadalzakkar86@gmail.com, sakhacase@bk.ru

В данной статье представляется разработка и исследование гибридной электростанции мощностью 650 Вт исполнения «Ветер + Солнце», где рассмат-

риваются зависимость электроэнергетических показателей от внешних параметров окружающей среды и технико-экономическое обоснование на примере технической апробации в объекте сельского хозяйства в условиях Арктики.

Ключевые слова: гибридные системы электроснабжения, ветровая энергетика, солнечная энергетика, система накопления энергии, экономия топлива, Север, Арктика.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF HYBRID POWER PLANT KE-650 FOR REMOTE POWER USERS IN THE NORTH AND ARCTIC

Alzakkar Ahmad Mohammed-Nasser, Mestnikov Nikolai Petrovich,
Alhaj Foad Hassan

Abstract: This article presents the development and study of a 650 W hybrid power plant of the Wind + Sun version, which examines the dependence of electric power indicators on external environmental parameters and a feasibility study on the example of technical testing in an agricultural facility in the Arctic.

Keywords: hybrid power supply systems, wind power, solar power, energy storage system, fuel economy, North, Arctic.

В целях проведения научно-исследовательской работы по вышеуказанной теме выбран Северо-Восточный регион Российской Федерации – Республика Саха (Якутия), где 13 муниципальных районов входят в арктическую часть России в соответствии с территориальными и климатическими требованиями.

В настоящий момент энергоснабжение потребителей северных районов Якутии производится посредством эксплуатации отдельных объектов автономной генерации тепла и электроэнергии, которые являются объектами децентрализованной системы тепло- и электро-снабжения.

В связи с этим на рисунке 1 представляется карта арктических районов Якутии и на рисунке 2 карта электроснабжения вышеуказанного региона.



Рис. 1. Карта арктических районов Якутии



Рис. 2. Карта электроснабжения Якутии

В соответствии с рисунком 2 видно, что арктические районы Якутии из рисунка 1 полностью подпадают в зону децентрализованного энергоснабжения, где электроснабжение полностью производится объектами автономной генерации, такие как: дизель-генераторы, газотурбинные установки, солнечные электростанции и др. Таким образом, все арктические районы Якутии подпадают в северный энергетический район Якутии.

В составе данного энергетического района входят более 140 электрических станций, в том числе дизельные, газотурбинные, ветровые и солнечные электростанции.

Общая установленная мощность вышеуказанных энергетических объектов составило около 200,00 МВт электрической и 92,40 Гкал/час тепловой энергии.

Протяженность линий электропередачи, обслуживаемых в Северном энергетическом районе Якутии, составляет 2072,00 км, а количество трансформаторных подстанций насчитывает 827,00 единиц [1].

Вместе с тем более 95,00 % от всего объема генерации электроэнергии в северном энергетическом районе Якутии производится посредством эксплуатации объектов традиционной энергетики, функционирующие на принципе сжигания дизельного и угольного топлива.

Кроме того, величина выброса углекислого газа при сжигании дизельного топлива составляет 3,15 т $\text{CO}_2/\text{т}$ или 2,6–2,8 кг $\text{CO}_2/\text{л}$ в зависимости от температуры топлива и его марки, где летнее более плотное, а зимнее менее плотное, а коэффициент выбросов углерода составляет 19,98 тС/ТДж [2]. Данные величины потенциального выброса углекислых газов являются недопустимыми, так как экосистема Арктики является уникальной по своей природе.

С учетом вышеизложенного автором статьи предлагается внедрение гибридной электростанции посредством комбинации ветровой и солнечной энергии. В связи с этим на базе лаборатории кафедры «Электроснабжение» СВФУ им. М.К. Аммосова спроектирован и собран рабочий прототип гибридной электростанции модели КЭ-650, где на рисунке 3 представлен внешний вид агрегата.



Рис. 3. Внешний вид КЭ-650

В ходе технической апробации на базе фермерского хозяйства «Нэлэгэр», находящаяся на территории центральной Якутии, установлены определенные физико-технические зависимости от показателя освещенности (лк), скорости ветра (м/с) и площади освещаемой поверхности солнечной панели (м^2). С учетом установленных зависимостей автором статьи разработана номограмма, представленная на рисунке 4.

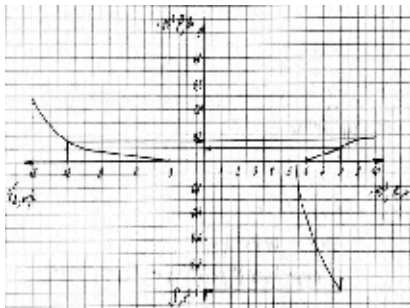


Рис. 4. Номограмма для КЭ-650

С помощью вышеуказанной номограммы возможен расчет необходимой мощности для гибридных электростанций исполнения «Ветер + Солнце» в географических и климатических условиях Севера и Арктики.

Рассчитаны основные показатели и параметры технико-экономической оценки гибридной электростанции КЭ-650 при параллельной работе с дизельным генератором мощностью 2,00 кВт на примере объекта АПК Арктики, представленные в таблице 1.

Таблица 1
Результаты технико-экономической оценки

| | |
|--|----------------------|
| Стоимость КЭС-650, в рублях | 90 000,00 |
| Удельная мощность, в Вт | 650,00 |
| Источник генерации | Ветер и Солнце |
| Объем часовой генерации, в Вт*ч | 570,00 |
| Объем суточной генерации, в Вт*ч | 5 130,00 |
| Объем годовой генерации КЭ-650, в кВт*ч | 923,40 |
| Удельный расход топлива на генерацию, л/Вт | $3,63 \cdot 10^{-4}$ |
| Количество годового сэкономленного топлива, в л | 335,74 |
| Количество годовой экономии денежных средств, в рублей | 33 574,82 |
| Срок окупаемости, в годах | 2,70 |
| Дисконтированный срок окупаемости, в годах | 4,00 |

Выводы:

На основании вышеизложенного в ходе исследования гибридной электростанции КЭ-650 получены следующие выводы:

1. Эксплуатация гибридной электростанции исполнения «Ветер + Солнце» в условиях Арктики наиболее возможна и целесообразна.
2. Разработана номограмма для проектирования гибридных электростанций микромощности исполнения «Ветер + Солнце».
3. Результаты технико-экономической оценки показывают положительные параметры по окупаемости проекта.

Литература

1. Электронный источник. Корпоративный сайт АО «Сахаэнерго». Доступно по: URL: <http://www.sakhaenergo.ru/about>. Ссылка активна на 18.10.2020.
2. Электронный источник. СРО НП «Межрегиональный альянс энергоаудиторов». Доступно по: URL: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/>

371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyykh-gazov. Ссылка активна на 18.10.2020.

3. Кундас С.П., Позняк С.С., Шенец Л.В. Возобновляемые источники энергии // Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. С. 390.

4. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. С. 187.

УДК 621.317.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

¹Альзаккар Ахмад Мухаммед-Насер, ²Местников Николай Петрович,

³Алхадж Фoad Хассан

¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань

²ФГБОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Якутск, Россия

³ФГБОУ ВО «Институт физико-технических проблем Севера СО РАН», г. Якутск
ahmadalzakkar86@gmail.com, sakhacase@bk.ru

В статье рассмотрены проблемы об ухудшении показателей качества электроэнергии в питательных сетях (по ГОСТ 3214420-13), вносимые электроустановками с цифровыми блоками питания (ЦБП), в частности от системных блоков компьютеров и светодиодных ламп различных типов и технических характеристик. Для решения данной задачи была разработана методика по изучению спектрального состава токов и напряжений с использованием высокоточных приборов, как РМ175, Metrel 2592 и Metrel 2892, фиксирующие более 80-ти параметров качества электроэнергии. Основное направление экспериментов было направлено на такие показатели качества электроэнергии: коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения; гармонические составляющие напряжения; гармонические составляющие тока и напряжения до 50-й включительно.

Ключевые слова: показатель качества электроэнергии, цифровой блок питания, светодиодная лампа, высшие гармоники.

STUDY OF INCREASING THE QUALITY OF ELECTRIC POWER BY USING NON-CONVENTIONAL POWER SUPPLIES

Alzakkar Ahmad Mohammed-Nasser, Mestnikov Nikolai Petrovich, Alhaj Foad Hassan

In article the problems about deterioration in indicators of quality electric power network's (in accordance with GOST 3214420-13) brought by electro installations with the digital power supply, in particular from power supply computer's and LED lamp's of various

types and technical characteristics are considered. The method studying of spectral structure current and voltage with devices PM175, Metrel 2592 and Metrel 2892 fixing more than 80 parameters quality of the electric power has been developed for the solution of this task. The main direction experiments has been directed to such indicators power quality: Distortion factor of the non sinusoidal voltage and current; Total harmonic current (THDi) and voltage (THDu) distortion and unbalance factor of return voltage (current) sequence up to the 50th inclusive.

Keywords: Power quality, digital power supply, LED lamp, harmonics.

На рис.1 приведена [2] классическая структурная схема импульсного источника питания с мостовым выпрямителем и входной емкостью

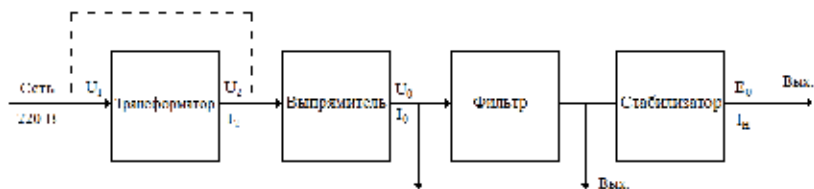


Рис. 1. Структурная схема импульсного источника питания

На рис. 2 представлена [3] осциллограмма тока потребления светодиодных ламп с разными драйверами промышленного производства.

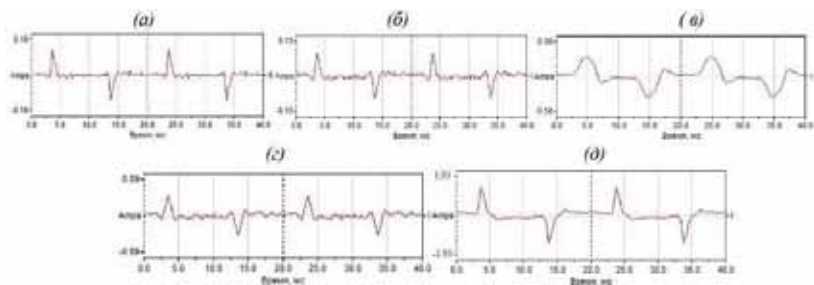


Рис. 2. Осциллограмма тока потребления светодиодных ламп:
а- ЭРА 8 Вт; б-Philips 7 Вт; в- iEK 10 Вт; г- Osram 8 Вт; д- Всех ламп

Как видно из осциллограммы ток потребления представляет периодическую несинусоидальную функцию.

Пусть задан периодический сигнал с периодом T . Выберем в качестве базисных систему ортогональных тригонометрических функций (1); $\cos(\alpha t); \sin(\alpha t); \cos(2\alpha t); \sin(2\alpha t); \dots \cos(n \alpha t); \sin(n \alpha t)$

Интервал ортогональности совпадает с периодом функции и равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

При этом ряд Фурье в тригонометрической форме запишется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} f(t) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)) \\ f(t) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_1 t + \psi_n) \end{aligned} \right\} , \quad (2)$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \psi_n = \arctg\left(\frac{a_n}{b_n}\right) , \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_1 t) dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_1 t) dt \end{aligned} \right\} . \quad (4)$$

Функция $f(t)$ представлена в виде суммы гармонических колебаний с разными частотами.

Наименьшая частота $\omega_1 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)$ – это частота первой гармоники.

Говорят, что осуществлено спектральное разложение этого сигнала. Отдельные гармонические компоненты сигнала образуют его спектр. Совокупность величин $A_n = A(n\omega_1)$ и $\psi_n = \psi(n\omega_1)$ называются соответственно амплитудным и фазовым частотными спектрами периодической функции $f(t)$.

Причем ГОСТ 3214420-13 суммарное гармоническое искажение.

$$\left. \begin{aligned} \text{THD}_i &= \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \cdot 100\% \\ \text{THD}_u &= \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2}}{U_1} \cdot 100\% \end{aligned} \right\} , \quad (5)$$

где k – порядковый номер гармоники; U_k, I_k – действующее значение k -й гармоники.

Другой характеристикой несинусоидальности формы кривой служит коэффициент n-й гармонической составляющей

$$\text{THD}_{n,u} = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100\% \quad (6)$$

Таким образом, для оценки коэффициентов, определяющих несинусоидальность периодических кривых, необходимо знать спектральный состав несинусоидальных токов и напряжений. Кроме того, проблемы оценки качества электроэнергии в распределительных сетях, выявления гармонического состава и разработки методов компенсации гармоник напряжения являются актуальными.

Таблица 1

Сравнительный значения гармонических составляющих напряжений

| Типы приборов | Гармонический состав напряжения (в % к фазному току) | | | | | | |
|---------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | THD _U (%) |
| Osram 4 Вт | 1,7 | 0,7 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0 | 2,1 |
| Osram 6 Вт | 1,8 | 0,7 | 0,4 | 0,9 | 0 | 0,2 | 2,3 |
| Osram 8 Вт | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0 | 0 | 0,3 | 1,2 |
| Osram 10 Вт | 1,6 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0 | 0,5 | 2 |
| Phillips 4 Вт | 1,5 | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 0 | 0,1 | 1,21 |
| Phillips 5 Вт | 1,4 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,95 |
| Phillips 7 Вт | 2 | 0,5 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 1,2 |

Таблица 2

Результаты измерения тока в нулевом и фазном проводе

| Типы приборов | Значения измерения тока в нулевом и фазном проводе | | |
|---------------|--|------------------|--|
| | В нулевом проводе | В фазном проводе | Соотношение I ₀ /I _Ф |
| Osram 4 Вт | 0,004 | 0,011 | 0,40 |
| Osram 6 Вт | 0,009 | 0,023 | 0,38 |
| Osram 8 Вт | 0,007 | 0,041 | 0,18 |
| Phillips 4 Вт | 0,002 | 0,027 | 0,06 |
| Phillips 5 Вт | 0,002 | 0,032 | 0,07 |
| Phillips 7 Вт | 0,003 | 0,039 | 0,07 |

Рекомендовано, что в электрических сетях имеющие [4] светодиодных ламп различных типов и техническими характеристиками необходимо о соответствующем выборе фильтра по поддержанию качества электроэнергии и надежности систем электроснабжения [5].

Показано, что коэффициент искажения синусоидальности кривой тока превышает допустимый стандарт ГОСТ 3214420-13, даже с полностью симметричными нагрузками. Это явление приводит к значительному увеличению активных потерь по сравнению с использованием идеального синусоидального режима. Кроме того, обнаружено появление четных гармонических составляющих от светодиодных ламп различной мощности и фирм, приводит к существенному росту тока в нулевом проводе.

Литература

1. ГОСТ 3214420-13 «нормы качественной электрической энергии в системах общего назначения».

2. Ванг Ю., Хуанг Я., Вонг В. и др. Светодиодный драйвер на основе конвертера класс-Е. IEEE // Известия по промышленности, Май–Июнь 2016. Том. 52, №. 3, С. 2618–2626.

3. Власов А.Б., Ремезовский В.М., Мухалев В.А. Контроль качества электрической энергии на подстанциях морского порта. Вестник АГТУ, Серия: Морская техника и технология, Февраль 2017. № 1. С. 108–115.

4. Дубинин В.В., Попов А.Н. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях // Ползуновский Вестник, 2013. № 4-2. С. 66–71.

5. Кук В., Коббен Д-Ф.Г., Клинг В.Г. и др. Анализ факторов разнесения, применяемых к ограничениям гармонической эмиссии для энергосберегающих ламп, 14-я Международная конференция по гармонизации и качеству энергии, 2010. С. 1–6.

УДК 628.9.041.4

ПРИМЕНЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Баширов Азамат Анзоревич, Казмирук Лев Олегович,
Сандаков Виталий Дмитриевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия

Bu-bu-bu-bu@mail.ru, lev.kazmiruki@mail.ru, Vitalysandakov@gmail.com

Для полноценного развития растениям необходим свет. Он может быть разной интенсивности, разной длины волны. Благодаря вычислению и применению наилучших

световых характеристик при выполнении освещения при досвечивания или в условиях «закрытой фермы» достигается желаемые конечные параметры растения, будь то размер цветка, стебля, биомасса или же время цветения. Данное направления остаётся мало исследованным, однако перспективы работ в этом направлении позволят использовать и автоматизировать наилучшее для растений освещение, которое уменьшит затраты времени на выращивание и позволит в большей степени регулировать их развитие, что даст возможность получать более совершенные плоды.

Ключевые слова: светодиод, агрофотоника, исследование, автоматизация, растениеводство, регулирование, контроллер, спектр света.

APPLICATION AND AUTOMATION OF LED LIGHTING IN CROP PRODUCTION

Azamat Anzorovich Bashirov, Lev Olegovich Kazmiruk, Vitalii Dmitrievich Sandakov

For full development, plants need light. It can be of different intensities, different wavelengths. By calculating and applying the best light characteristics when performing illumination under supplementary lighting or in “closed farm”, the desired final parameters of the plant are achieved, be it flower size, stem size, biomass or flowering time. This direction remains poorly studied, however, the prospects of work in this direction will allow the use and automation of the best lighting for plants, which will reduce the time spent on growing and allow more regulation of their development, which will make it possible to get better plants.

Keywords: LED, agrophotronics, research, automation, crop production, regulation, controller, light spectrum.

Бурное развитие науки в настоящее время способствует совершенствованию, как технологических процессов, так и оборудования в агропромышленности. Одним из важнейших факторов, влияющих на растение, помимо температуры, питательных веществ, уровня углекислого газа – является освещение. Изучением этого занимается агрофотоника – область знаний о воздействии различных диапазонов излучения света на растение в процессе его роста и созревания [1].

Долгий процесс эволюции позволил растениям научиться реагировать на внешние условия, в частности свет и препятствия на пути его получения, и подстраиваться под них для своей выгоды. Это даёт нам возможность сделать вывод о том, что регулируя освещение, подводимое к растению, мы можем изменять его параметры: длину, форму, сроки цветения и т.д. С этой задачей превосходно будут справляться светодиоды, благодаря возможности узкой настройки излучаемого света.

Существует два варианта освещения растений: закрытый («закрытые фермы») и открытый (досвечивание). При досвечивании растение уже получает свет от солнца, и нам нужно лишь добавлять узконаправленные светодиоды красного или синего спектра в зависимости от наших целей.

В условиях «закрытых ферм» нам важно дополнить цветные светодиоды белыми, для полноценной компенсации отсутствия солнечного света [2].

Компания OSRAM предоставляет рекомендационные графики необходимого растениям освещения в зависимости от этапа развития растения и того, что нам необходимо регулировать (рост, цветение и т. п.). Графики представлены как для закрытых, так и для открытых ферм.

Для ускорения темпов роста рекомендуется выбирать цветные светодиоды красного (около 660 нм) и синего (около 450 нм) спектров. В условиях одного источника света «закрытых ферм» необходимо дополнить их эффективным светодиодом белого цвета для передачи достаточной энергии растениям для осуществления фотосинтеза (рис. 1).

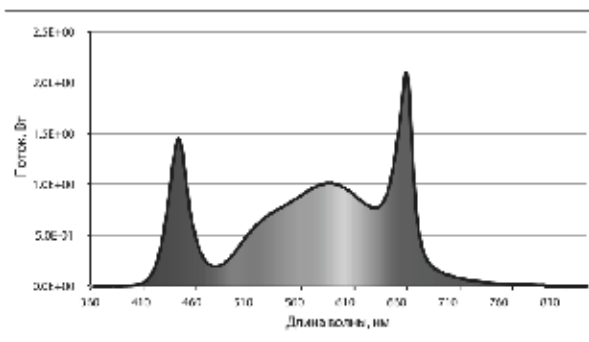


Рис. 1. Спектр излучения светодиодов, рекомендуемый для регулирования роста растений при использовании одного источника света

В настоящий момент мы создаем экспериментальную установку для установления зависимости темпов развития и конечных параметров растений, в зависимости от интенсивности и цветовой температуры используемого светодиодного освещения. Установка может использоваться как вручную для переключения режимов освещения, так и с заложенной в неё программой освещения в течении суток, что является решением по автоматизации освещения [3].

В качестве источников света будут использоваться RGB светодиоды [10], либо же одноцветные светодиоды с разной длиной волны. Изменять интенсивность определенных спектров света, который будут получать растения будем при помощи контроллера «ArduinoDue». В случае использования RGB светодиодов их цвет будет корректироваться благодаря подачи сигналов различной скважности на ножки светодиода,

отвечающие за красный, зелёный и синий спектры (рис. 2). Конечный цвет установки при применении одноцветных светодиодов (будут использованы белый, красный и синий) будет регулироваться количеством включённых светодиодов соответствующего спектра [8]. Включение и выключение светодиодных источников света на автоматизированной основе будет осуществлено при помощи потенциометра, изменяя его сопротивление можно регулировать как работу всей установки, так и определенных светодиодов в частности [4].

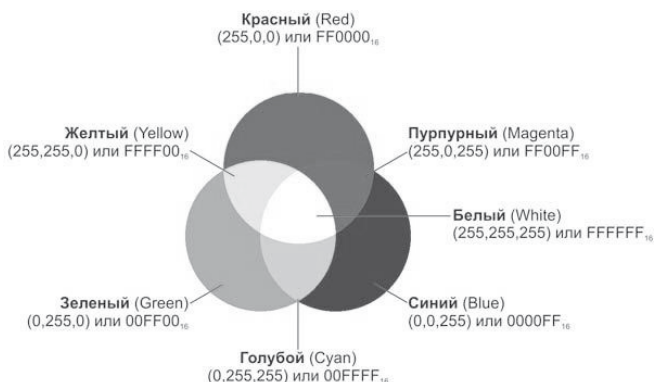


Рис. 2. Спектры цвета RGB светодиода

Для эксперимента будут использованы несколько одинаковых растений, включая образец для сравнения, который не будет затронут самим экспериментом. Растения будут получать одинаковое количество питания и солнечного света, в случае использования освещения досвечивания. Растения, непосредственно участвующие в эксперименте, будут получать освещение в соответствии с рекомендационными графиками, полученными компанией OSRAM. Продолжительность эксперимента будет выбрана в зависимости от сроков роста и созревания выбранного растения [5].

Результатом является подтверждение или опровержение полезности данных компании OSRAM, создание самой установки автоматизированного освещения для дальнейших исследований и её модернизации, нахождение оптимального варианта и средств по обеспечению автоматизации, получение опыта работы связанного с проектированием и созданием опытной установки и проведения исследований [7].

Агрофотоника – довольно молодая наука, но благодаря развитию исследований в этой области, мы можем шагнуть ближе к полному пониманию влияния света на растения [6]. Важной задачей остаётся изучение различной нетипичной реакции растений на определенные характеристики света и составление обширной библиотеки исследований по каждому отдельно взятому виду или подвиду растения. Стоит отметить, что популяризация агрофотоники позволит привлечь больше ресурсов к решению этих задач. Результаты опытов и исследований могут быть использованы в промышленном выращивании растений в достаточно короткие сроки, что говорит о готовности современного мира к полноценной реализации тех знаний, которые будут получены и многократно подтверждены учёными в результате их деятельности в агрофотонике [9].

Литература

1. Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений. // Физиология растений, 1987. № 4. С. 60–63.
2. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.
3. Алехина Н.Д., Балнокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. и др. Физиология растений. Под ред. Ермакова И.П.М.: Издательский центр «Академия», 2005.
4. Светодиодная продукция для освещения растений // Современная светотехника, 2019. № 1. С. 32–41.
5. Разработки в области фитоосвещения // Современная светотехника, 2019. № 3. С. 38–40.
6. Ломан В.М. Курс светокультуры растений. Изд. 2-е. М: Высш. школа, 1976.
7. Иванова В.Р., Садыков М.Ф. Современные светодиодные технологии / монография в двух томах «Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике», ФГБОУ ВПО «Казанский Государственный энергетический университет». Под ред. Э.В. Шамсутдинова и О.С. Зуевой. Казань, 2014. Т. II. С.178–201.
8. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 2018 14th International

scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. P. 336–338.

9. Тукшаитов Р.Х., Сайфутдинова В.Р., Алхамсс Я.Ш. и др. Люкс-амперные и временные характеристики светодиодных светильников, питаемых от гальванических элементов // Сборник статей в журнале «Проблемы энергетики», № 11–12. Казань, 2010.

10. Шириев Р.Р., Борисов А.Н. Светодиодный источник света с повышенной светоотдачей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1–2. С. 111–119.

УДК 621.3.051.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПАРКОВЫХ ЗОН

Валиева Дилара Ильгамовна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
valievadilara@yandex.ru

Пространство, в котором мы живем, нуждается в освещении. Оно обуславливает комфортные условия, позволяет насладиться окружающим миром.

Ключевые слова: освещение, парковая зона, автоматизация, программа.

PARK LIGHTING AUTOMATION

Valieva Dilara Ilgamovna

The space we live in needs lighting. It provides comfortable conditions, allows you to enjoy the world around you.

Keywords: lighting, parking area, automation, program.

Для качественного и современного освещения требуется соблюдать ряд основных задач:

– Безопасность – парковая зона должна быть доступна для прогулок и времяпровождения на ней в любое время суток.

– Комфорт – освещение должно быть комфортным для людей и животных, посещающих парковую территорию, жителям близлежащих домов не должно приносить дискомфорт слишком яркое освещение ближайшей территории парка. К тому же, освещение должно подчеркивать архитектурные и дизайнерские решения на данной территории.

– Эстетика – важно, чтобы светильники, фонари или прожекторы гармонично вписывались в окружающую местность.

– Экономичность – освещение должно обеспечивать ориентацию человека в пространстве [3].

Осветительные приборы не должны быть яркими и навязчивыми. Должен излучаться приятный мягкий свет, приглушенный свет может выгодно освещать интересные объекты, даже скамейки и деревья в парке.

Также важно не допускать «загрязнения» освещением территории парков.

Световое загрязнение (рис. 1) – это засвечивание ночного неба с помощью искусственных источников освещения, свет от которых рассеивается в нижних слоях атмосфер. Это явление могут называть световым смогом в различных источниках [4].



Рис. 1. Световое загрязнение в городе

Основными источниками являются промышленные предприятия, на которых активно используются прожектора и иные мощные по характеристикам светильники. Источниками также являются крупные города, основными проблемами которых являются светящиеся баннеры, уличное освещение [2].

Из-за излучаемого светильниками света создается световой купол за счет отражения света вверх. Это происходит из-за неэффективной конструкции многих систем освещения, которая в конечном итоге ведет к расточительству энергии [5].

В мире с каждым годом световое загрязнение становится все ярче. Более всего это связано с развитием технических характеристик источников света. В том числе и переход на светодиодные источники.

Использование специальных светильников для наружного освещения позволяет свести к минимуму световое загрязнение [1].

Важное место в решении проблемы искусственного освещения парковых зон занимает нормирование освещенности. В соответствии со СНиП П-4–79 среднюю горизонтальную освещенность территорий парков, садов, стадионов и выставок следует принимать по табл. 1 [6].

Таблица 1

Нормы проектирования освещенности парковых территорий

| Освещаемые объекты | Средняя горизонтальная освещенность, лк |
|--|---|
| | Общегородские парки |
| Главные входы | 6 |
| Вспомогательные входы | 2 |
| Центральные аллеи | 4 |
| Боковые аллеи | 2 |
| Площадки массового отдыха: площадки перед входами в театры, кинотеатры, выставочные павильоны и на открытые эстрады; площадки для настольных игр | 10 |
| Зоны отдыха на территориях выставок | – |

Анализ примеров из практики позволяет рекомендовать следующие нормы освещенности, тип и высоту светильника, а также интервалы между светильниками на аллеях и площадках среди зеленых насаждений (табл. 2).

Таблица 2

Нормы освещенности, типы и высоты светильников на парковых территориях

| Элемент территории | Ширина, м | Нормы освещенности, лк | Мощность ламп, Вт | Высота размещения светильника, м | Интервалы между светильниками, м |
|--------------------|-----------|------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Аллея | 8 | 4 | 160 | 4,5 | 25 |
| | 15 | 4 | 125 | 6 | 25 |
| Площадка отдыха | 25 x 25 | 10 | 240 | 8,5 | 25 |
| | 100 x 120 | 10 | 500 | 12,5 | 27 |

Для освещения парков и зеленых зон рекомендуется использовать источники света с белым светом. Такие источники обосновывают качественную контрастность и цветопередачу, обеспечивают доступную видимость для посетителей парковых зон.

Для освещения парковых зон лучше применять металлогалогенные лампы или светодиоды с нейтральным и теплым белым светом.

Для оптимизации процесса освещения можно использовать автоматизированную систему управления освещением парковой зоны с помощью программы Codesys. Освещение будет включаться и выключаться автоматически в разное время суток на протяжении года. Как только меняется сезон, условия включения так же изменяются [7].

Автоматизированную систему управления освещением для парковых зон характеризуют:

- дистанционный контроль, диагностика и управление как линиями электроосвещения целиком, так и отдельными светильниками;
- энергосбережение за счет оптимизации графика включения/отключения освещения, индивидуального и группового диммирования;
- создание режимов работы отдельно для каждого объекта;
- работа в автономном режиме по запрограммированному графику вне зависимости от наличия каналов связи с диспетчерским пунктом;
- управление освещением с учетом метеорологических факторов;
- диагностика, регистрация и логирование ошибок;
- составление и предоставление в автоматическом режиме отчетности об энергопотреблении и энергосбережении;
- сокращение затрат на эксплуатационное обслуживание.

Таким образом, можно сделать вывод, что правильное парковое освещение играет очень важную роль как в общей композиции парковой территории, так и в атмосфере всего окружения.

Литература

1. Свод правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. N 777/пр), 2016. 135 с.

2. Алфёрова Т.В., Полозова О.А., Бахмутская В.В. Современные источники света как средство повышения эффективности использования электроэнергии // Электрика, 2010. № 9. С. 26-27.

3. Богданов А.А., Васильева Е.Д., Зайцев А.К. Мощные светодиоды и светотехнические изделия на их основе // Светотехника, 2007. № 3. С. 12–19.

4. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 2018 14th International

scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. P. 336–338.

5. Иванова В.Р., Садыков М.Ф. Современные светодиодные технологии // монография в двух томах «Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике», ФГБОУ ВПО «Казанский Государственный энергетический университет». Под ред. Э.В. Шамсутдинова и О.С. Зуевой. Казань, 2014. Т. II, С. 178–201.

6. Тукшаитов Р.Х., Сайфутдинова В.Р., Шириев Р.Р. и др. Разработка новой методики определения КПД осветительных приборов // Проблемы энергетики, 2009. № 5. С. 104–109.

7. Шириев Р.Р., Борисов А.Н. Светодиодный источник света с повышенной светоотдачей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. С. 111–119.

УДК 621.355

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В СОСТАВЕ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Вихров Михаил Евгеньевич, Тамаровский Алексей Евгеньевич,
Кузнецова Анастасия Михайловна
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»»,
г. Москва, Россия
vikhrovmy@mpei.ru, atamarow@yandex.ru, anastasy.kuznetsova@gmail.com

Рассмотрены особенности, сильные и слабые стороны различных электрохимических накопителей электрической энергии, применяемых в источниках бесперебойного питания.

Ключевые слова: свинцово-кислотный аккумулятор, литий-ионный аккумулятор, никель-кадмиевый аккумулятор, никель-металлогидридный аккумулятор, ионистор.

COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES AS PART OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES

Vikhrov Mikhail Evgenyevich, Tamarovskiy Aleksey Evgenyevich,
Kuznetsova Anastasia Mikhailovna

This article describes the features, strengths and weaknesses of various electrochemical energy storage devices used in uninterruptible power supplies.

Keywords: lead-acid battery, lithium-ion battery, nickel-cadmium battery, nickel-metal hydride battery, ionistor.

В качестве накопителя электроэнергии в источниках бесперебойного питания преимущественно используют различные аккумуляторные батареи. Большинство источников бесперебойного питания комплектуются свинцово-кислотными или литий-ионными аккумуляторами, реже применяются никель-кадмиевые и никель-металлогидридные аккумуляторы. Помимо этого, появилась возможность накопления больших объемов электроэнергии в ионисторах, что в перспективе может оказать влияние на рынок промышленных ИБП.

Свинцово-кислотный аккумулятор – это химический источник тока, состоящий из двух свинцовых пластин, пористого сепаратора и жидкого или гелеобразного электролита.

Исторически большие свинцово-кислотные аккумуляторы использовались в промышленности для аварийного питания различных систем. Под свинцово-кислотные аккумуляторы отводились отдельные и значительные по площади помещения, за которыми требовалось постоянное наблюдение персонала. В современных свинцовых аккумуляторах решены проблемы взрывоопасного выделения водорода и испарения электролита, но по энергетическим показателям они способны удовлетворить не все требования рынка [1]. Сама технология свинцово-кислотных аккумуляторов является самой старой и самой отработанной. По этой причине данные аккумуляторные батареи продолжают активно и широко использовать в различных областях промышленности. Преимущества и недостатки свинцово-кислотных аккумуляторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки свинцово-кислотных аккумуляторов

| | |
|--------------|--|
| Преимущества | Отсутствует эффект «памяти» Стабильная ЭДС при разряде Простой цикл заряда Малый саморазряд |
| Недостатки | Большие габариты и масса Ограничения по пространственной ориентации Значительное снижение емкости при отрицательных температурах |

Литий-ионный аккумулятор – это химический источник тока, состоящий из двух электродов, между которыми размещен сепаратор, содержащий жидкий или гелеобразный электролит. Ионы лития с положительным зарядом являются носителями тока и способны вызывать электрохимическую реакцию.

Литий-ионные аккумуляторы широко применяются как в накопителях энергии в энергетических системах, так и в бытовой технике, в мобильных устройствах, на воздушном, железнодорожном и водном транспорте.

Емкость батарей данного типа определяется по количеству ионов лития. Ближе к концу срока эксплуатации происходит постепенная коррозия анода и катода, что вызывает уменьшение емкости аккумулятора. Процесс заряда литий-ионных аккумуляторов необходимо контролировать, для этого в корпусе аккумуляторов располагают плату контроля. Данная плата призвана защищать аккумулятор от длительного перезаряда и перегрева – основных причин выхода из строя аккумуляторов. Преимущества и недостатки литий-ионных аккумуляторов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Преимущества и недостатки литий-ионных аккумуляторов

| | |
|--------------|---|
| Преимущества | Компактность Отсутствие выделения водорода Отсутствует эффект «памяти» Подлежит дальнейшей переработке |
| Недостатки | Высокая цена При высоких нагрузках и глубоких разрядах существует опасность самовозгорания батареек. Необходимость встроенного контроллера заряда |

Никель-кадмиевый аккумулятор – это химический источник тока, в котором катод выполнен из гидрата закиси никеля, а анод из гидрата закиси кадмия. Как и в других моделях аккумуляторов катод и анод разделены сепаратором.

Применяются никель-кадмиевые аккумуляторы в основном в транспорте для питания цепей управления или как вторичные источники электроэнергии. Данные аккумуляторы активно используют в сферах, где по причине жестких внешних условий необходима высокая надежность.

Особенностью никель-кадмиевых аккумуляторов является необходимость периодически производить полный разряд батареи. В противном случае происходит так называемый «эффект памяти», вызывающий снижение емкости аккумулятора. Данный эффект заключается в том, что на пластинах элемента происходит формирование крупных кристаллов. В настоящее время в странах ЕС действуют ограничения по применению данных аккумуляторов из-за высокой токсичности компонентов, входящих

в их состав. Преимущества и недостатки никель-кадмиевых аккумуляторов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Преимущества и недостатки никель-кадмиевых аккумуляторов

| | |
|--------------|---|
| Преимущества | Надежность Возможность быстрой зарядки Хорошая производительность при низких температурах Отсутствие спец. требований к хранению |
| Недостатки | Низкая удельная энергоемкость Эффект «памяти» Высокий саморазряд Требования к утилизации (высокая токсичность) |

Никель-металлогидридный аккумулятор – это химический источник тока на основе металлогидридных сплавов. Возникновение данного типа аккумуляторов связано с никель-кадмиевыми аккумуляторами, и первые появились благодаря попыткам улучшить свойства последних.

В отличие от своего предшественника данный тип экологически безопасен. Энергетическая плотность никель-металлогидридных аккумуляторов в среднем на 30-40 % выше, чем у никель-кадмиевых, при этом сохранена способность работать в широком температурном диапазоне.

Никель-металлогидридным аккумуляторам свойственен высокий саморазряд: в первые 24 часа аккумулятор теряет до 15 % своей емкости. Также применение данных аккумуляторов ограничивают сложности, связанные с процессом подзарядки. Помимо того, что данные батареи необходимо заряжать по сложному алгоритму для избегания перегрева, необходимо периодически производить цикл полного разряда-заряда. Преимущества и недостатки никель-металлогидридных аккумуляторов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Преимущества и недостатки никель-металлогидридных аккумуляторов

| | |
|--------------|---|
| Преимущества | Надежность Возможность быстрой зарядки Хорошая производительность при низких температурах (широкий диапазон рабочих температур) Отсутствие спец. требований к хранению |
| Недостатки | Особые требования к контролю процесса подзарядки Необходимость периодически «тренировать» аккумулятор Высокий саморазряд |

Ионистор (супер-конденсатор) – электрохимическое устройство, способное накапливать электрическую энергию. Иными словами, это конденсатор заполненный органическим или неорганическим электролитом. По своим характеристикам ионисторы занимают промежуточное положение между конденсаторами и электрохимическими аккумуляторами. Конструкция супер-конденсатора состоит из двух электродов, кристаллического электролита из раствора щелочей и кислот, и сепаратора, предохраняющего от коротких замыканий.

Самая большая трудность в применении супер-конденсаторов в качестве источников резервного питания – выравнивание напряжения по мере его разряда. Для поддержания номинального напряжения используют сложные электрические схемы. Использование ионисторов как устройств накопления электрической энергии для ИБП началось сравнительно недавно, но считается перспективным направлением. Одна из причин – это сокращение расчетного времени пуска генераторов за счет использования автоматизированных систем пуска, что позволяет супер-конденсаторам раскрыть свои положительные стороны. Преимущества и недостатки ионисторов приведены в таблице 5.

Таблица 5

Преимущества и недостатки ионисторов (в качестве аккумуляторов)

| | |
|--------------|--|
| Преимущества | Большие токи заряда и разряда Неполярность Малая зависимость от температуры окружающей среды |
| Недостатки | Высокая цена Зависимость напряжения от степени заряда Большой ток саморазряда |

Для того, чтобы источник бесперебойного питания был надежным и экономичным необходимо понимать, каким требованиям должен отвечать электрохимический накопитель. Анализ особенностей каждого из типов позволит повысить производительность и надежность систем. Сравнительная характеристика различных типов накопителей энергии приведена в таблице 6.

Несмотря на свои недостатки, свинцовые аккумуляторы продолжают широко применяться, поскольку они дешевле по сравнению с аналогами и просты в эксплуатации. Аккумуляторы на основе никеля используются в системах, в которых требуются высокая надежность и возможность работы при низких температурах. Главным преимуществом литий-ионных

аккумуляторов является высокая удельная энергоёмкость, что обеспечивает высокий спрос на аккумуляторы данного типа. Но применение всех рассмотренных аккумуляторных батарей имеет ограничение по сроку эксплуатации, так как в них происходит необратимые изменения, приводящие к постепенному уменьшению ёмкости батарей и снижению надёжности электроснабжения ответственных потребителей. В ближайшем будущем в ряде областей, где срок эксплуатации накопителя энергии имеет критически важное значение, на смену традиционным аккумуляторным батареям могут прийти ионисторы. Супер-конденсаторы частично превосходят своих конкурентов по диапазону рабочих температур, а срок эксплуатации батарей из ионисторов в разы превышает срок эксплуатации электрохимических источников тока.

Таблица 6

Сравнительная характеристика накопителей энергии [1-3]

| | Свинцово-кислотный | Литий-ионный | Никель-кадмиевые | Никель-металгидридные | Ионистор |
|---|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Число циклов «заряд-разряд» до снижения ёмкости до 80 % | 500-1000 | 1000-3000 | 1000-1500 | 300-500 | Более 10000 |
| Срок эксплуатации, лет | 2-5 | 3-10 | 8-10 | 8-10 | 20 |
| Удельная энергоёмкость, кВт·ч/кг | 30 - 40 | 110-243 | 45-80 | 60-120 | 5-15 |
| Саморазряд в месяц | 5% | <5% | 20% | 30% | 12-20% |
| Ток нагрузки: -пиковый -рекоменд. | 5С 0,2С | >2С 1С | 20С 1С | 5С 0,5С | – |
| Номинальное напряжение ячейки, В | 2 | 3,6 | 1,2 | 1,25 | 2,5-6 |
| Интервал рабочих температур | от – 15 °С до +40 °С | от -20 °С до +60 °С | от -50 °С до +40 °С | от -40 °С до +55 °С | от -40 °С до +70 °С |

Литература

1. Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.
2. Устройство, характеристики и применение ионисторов // go-radio, 2014. Доступно по: URL: <http://go-radio.ru/ionistor.html>.
3. Сравнение аккумуляторов: таблица типов // Bestenergy, 2016. Доступно по: URL: <https://best-energy.com.ua/support/battery/bu-107>.

УДК 621.386.84:53.082:004.942

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО АТОМНОГО НОМЕРА РЕНТГЕНОКОНТРАСТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПО СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Гаврилов Марк Сергеевич

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия,
mark-gavrilov97@mail.ru

В работе рассмотрена методика определения эффективного атомного номера и поверхностной плотности рентгеноконтрастных включений по спектрозональным изображениям. Представлены результаты вычислительного эксперимента. Показано, что характеристический угол между векторами в спектрозональном пространстве и их относительное удлинение можно использовать в качестве измерительных критериев для определения эффективного атомного номера и поверхностной плотности включений в укрывающих средах. Представлены результаты измерений, выполнена оценка их достоверности.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, спектрозональные изображения, эффективный атомный номер, поверхностная плотность, рентгеноконтрастные включения.

DETERMINATION OF EFFECTIVE ATOMIC NUMBER RADIO PAQUEIN CLUSION SIN MULTISPECTRAL IMAGES

Gavrilov Mark Sergeevich

The paper considers a method for determining the effective atomic number and surface density of x-ray contrast inclusions from spectrosonal images. The results of a computational experiment are presented. It is shown that the characteristic angle between vectors in the spectrosonal space and their relative elongation can be used as measurement criteria for determining the effective atomic number and surface density of inclusions in covering media. The results of measurements are presented and their reliability is evaluated.

Keywords: X-ray radiation, spectrosonal images, effective atomic number, surface density, x-ray contrast inclusions

Целью работы являлась разработка методики определения эффективного атомного номера и поверхностной плотности материала рентгеноконтрастных включений в укрывающих средах [1], путем анализа данных о поглощении излучения в веществе линейного многоканального GaAs-детектора.

Рентгенооптическая схема метода предполагает генерацию тормозного излучения, трансмиссию излучения сквозь исследуемый объект и последующую регистрацию сигнала с помощью линейного многоканального GaAs-детектора. Особенностью схемы регистрации излучения является то, что отдельные каналы детектирования одновременно являются чувствительными элементами и фильтрами падающего излучения. Согласно закону ослабления, интенсивность и спектральный состав излучения являются функциями эффективного атомного номера и поверхностной плотности материала включения. В результате проникновения падающего излучения в GaAs-детектор происходит поглощение квантов и формирование электрических сигналов в последовательных каналах детектирования.

Совокупность этих сигналов формирует абсорбционную кривую, характеризующую процесс затухания излучения в веществе детектора. Процесс формирования абсорбционной кривой сопровождается трансформацией спектрального состава падающего излучения. Можно предположить, что, используя информацию о затухании излучения и трансформации его спектрального состава, возможно одновременно определить два неизвестных параметра объектов в укрывающих средах – эффективный атомный номер и поверхностную плотность материала.

Спектральные распределения, зарегистрированные в области фона и в области объекта, представляются как два вектора в многомерном спектральноном пространстве. В качестве измерительных критериев было предложено использовать угол между сформированными векторами, рассчитанный по формуле 1, и их относительное удлинение, рассчитанное по формуле 2.

$$\cos \alpha = \frac{E_{in_obj}^T \times E_{in_fon}^T}{\sqrt{E_{in_obj} \times E_{in_obj}} \times \sqrt{E_{in_fon} \times E_{in_fon}}} \quad (1)$$

$$\Delta r = \frac{\sqrt{\sum_i (E_{in_fon} - E_{in_obj})^2}}{\sqrt{\sum_i (E_{in_fon})^2}} \quad (2)$$

Была разработана математическая модель системы регистрации.

Для калибровки математической модели использовались фантомы разной толщины из различных материалов. В диапазоне изменений поверхностной плотности рассчитывались значения измерительных критериев $\cos \alpha$ и Δr . Полученные данные использовались для калибровки математической модели. Калибровочные функции показаны на рисунке 1.

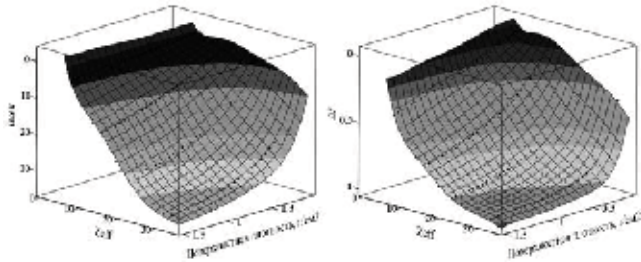


Рис. 1. Калибровочные функции: 1) – для $\cos \alpha$, 2) – для Δr

```

cos_alpha = 12.654
Delta_r = 0.644
} экспериментальные значения cos_alpha и Delta_r

Pi(x,y) = A(x,y) - Delta_r
E2(x,y) := alpha(x,y) - cos_alpha
} система уравнений для нахождения Zeff и r

ORIGIN:=1
x := 13
y := 0.1
} начальные приближения

GIVEN
f1(x,y) = 0
f2(x,y) = 0
} блок решения системы уравнений

Minit(x,y) = ( 55.555
              0.111 )
} результат решения для Gauss

```

Рис. 2. Блок решения

Полученные калибровочные функции используются для нахождения значений эффективного атомного номера и поверхностной плотности для произвольных фантомов. Блок решения приведен на рисунке 2.

Результаты вычислительного эксперимента с математической моделью спектрональной системы иллюстрируют данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты вычислительного эксперимента

| Фантом | Истинные значения | | Измеренные значения | | Относительные уклонения | |
|----------|-------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | $Z_{эфф}$ | $\rho t, \text{г/см}^2$ | $Z_{эфф}$ | $\rho t, \text{г/см}^2$ | $\Delta Z/Z, \%$ | $\Delta \rho t/\rho t, \%$ |
| Ситтал | 12.47 | 0.5 | 13.32 | 0.48 | 6.7 | 4.4 |
| | 12.47 | 1 | 13.21 | 0.96 | 5.9 | 3.5 |
| | 12.47 | 1.5 | 13.27 | 1.4 | 6.5 | 6.4 |
| Алюминий | 13 | 0.5 | 14.39 | 0.36 | 10.7 | 28.8 |
| | 13 | 1 | 14.1 | 0.75 | 8.4 | 24.7 |
| | 13 | 1.5 | 14.45 | 1.09 | 11.2 | 27.5 |
| Титан | 22 | 0.5 | 20.77 | 0.58 | 5.6 | 16.8 |
| | 22 | 1 | 23.13 | 0.83 | 5.1 | 17.2 |
| | 22 | 1.5 | 22.02 | 1.43 | 0.07 | 4.3 |

Для трех материалов: ситтал, алюминий и титан были получены данные вычислительного эксперимента и выполнено их сравнение с истинными значениями. Видно, что относительное уклонение полученных результатов не превышает 12 % для эффективного атомного номера и 30% для поверхностной плотности материала.

Литература

1. Найденов С.В., Рыжиков В.Д. Об определении химического состава методом мультэнергетической радиографии // Письма в ЖТФ. Вып. 9,2002. Т. 28. С. 6–13.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ – ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ

Галимова Акиля Анверовна
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия
akilya@mail.ru

Согласно статистике, представленной научным центром безопасности дорожного движения МВД России, около половины дорожно-транспортных происшествий происходит из-за плохого освещения автомобильной дороги. Линия наружного освещения и светофорная сигнализация – основные составляющие, обеспечивающие безопасность дорожного движения. В статье предложена методика выбора защитных автоматов для эффективной защиты линий наружного освещения автомобильных дорог от коротких замыканий, повышения надежности системы электроснабжения. Для отходящих фидеров линии наружного освещения из подстанции можно применять пятижильный кабель, пятую жилу которого использовать для электроснабжения светофорной сигнализации. Такой способ существенно снижает расходы на прокладку кабелей для светофорной сигнализации.

Ключевые слова: линия наружного освещения автомобильной дороги, система электроснабжения, защита от коротких замыканий, светофорная сигнализация.

MAIN ROAD POWER SUPPLY SYSTEMS- THE MAIN CRITERIA FOR EFFECTIVE OPERATION

Galimova Akilya Anverovna

According to statistics provided by the scientific center for road safety of the Ministry of internal Affairs of Russia, about half of road accidents occur due to poor road lighting. Outdoor lighting lines and traffic lights are the main components that ensure road safety. The article offers a method for selecting protective automata for effective protection of outdoor lighting lines of highways from short circuits, improving the reliability of the power supply system. For outgoing feeders of the outdoor lighting line from the substation, you can use a five-core cable, the fifth core of which is used for power supply of traffic lights. This method significantly reduces the cost of laying cables for traffic lights.

Keywords: highway exterior lighting line, power supply system, short-circuit protection, traffic light alarm.

Безопасность дорожного движения напрямую связана с эффективной, надежной работой системы электроснабжения инфраструктуры автомобильных дорог. Особенно важно обеспечивать безопасность автомагистралей, которые имеют плотный транспортный поток. Основные потребители электроэнергии автомагистралей – линии наружного освещения, светофорная сигнализация.

Основные критерии эффективной работы таких устройств – надежность, безопасность и бесперебойная работа. Согласно [1], около половины дорожно-транспортных происшествий происходит из-за плохого освещения автомобильных дорог. Анализ публикаций по тематике показал актуальность повышения надежности линий наружного освещения и обеспечения качественных характеристик источников света, бесперебойным электроснабжением светильников [2, 3, 4]. Более 30 % наездов на пешеходов совершается на пешеходных переходах, две трети из которых на нерегулируемых [5] и в темное время суток. Поэтому одним из эффективных методов повышения безопасности дорожного движения и регулирования транспортных и пешеходных потоков также является светофорная сигнализация [5].

Для бесперебойной и надежной работы линии наружного освещения автомобильной дороги необходимо эффективно защищать ее от аварийных режимов, например от коротких замыканий. Методика выбора проводников и защитных аппаратов известна и изложена в литературе [6, 7]. В статье предлагается методика защиты линий для электроснабжения светильников на магистральных автомобильных дорогах, которые при небольшой мощности достаточно протяженны. Методика позволяет обеспечивать защиту светильников при коротких замыканиях. Линии наружного освещения делится на участки, которые защищены своими автоматическими выключателями или предохранителями [8].

Методика позволяет определить узлы в линиях наружного освещения для установки защитных аппаратов. Условия для определения узла установки защиты:

в аварийном режиме для обеспечения допустимого времени срабатывания ток короткого замыкания должен иметь кратность к номинальному току защитного аппарата, соответствующую характеристике срабатывания защитного аппарата

$$I_{кз} \geq KI_{нз} \quad (1)$$

во избежание ложного срабатывания при допустимых перегрузках номинальный ток защитного аппарата должен быть больше расчетного тока нагрузки в этом узле $I_{нз} \geq I_{нj}$

Токи короткого замыкания рассчитываются в соответствии с [8, 9, 10].

Ток однофазного короткого замыкания:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{ср}}{\sqrt{(2R_{\Sigma} + R_0)^2 + (2X_{\Sigma} + X_0)^2}},$$

где U_{cp} – среднее значение напряжения, В; R_{Σ} – активное сопротивление прямой последовательности, Ом; R_0 – активное сопротивление обратной последовательности, Ом; X_{Σ} – реактивное сопротивление прямой последовательности, Ом; X_0 – реактивное сопротивление обратной последовательности, Ом.

Узел установки защитного аппарата определяется в соответствии с неравенством (1), в левую часть которого подставляем формулу для определения тока однофазного короткого замыкания, получим:

$$\frac{\sqrt{3}U_{cp}}{\sqrt{(2R_{\Sigma} + R_0)^2 + (2X_{\Sigma} + X_0)^2}} \geq KI_{Hz} \quad (1)$$

В правую часть неравенства подставим формулу для расчета тока в j -том узле:

$$\frac{\sqrt{3}U_{cp}}{\sqrt{(2R_{\Sigma} + R_0)^2 + (2X_{\Sigma} + X_0)^2}} \geq \frac{3P_{Hjn}}{\sqrt{3}U \cos \varphi} \quad (2)$$

где P_{Hj} – мощность в расчетном узле, Вт; n – число опор со светильниками от точки подключения до расчетного узла; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности; U_{cp} – напряжение, В.

В результате решения, подставив параметры системы электроснабжения и схемы замещения, можно определить узел нагрузки для установки защитного аппарата. Таким образом, определяем ближайший узел установки защиты. Однако, этот узел необходимо корректировать, потому что номинальный ток автомата выбирается из дискретного ряда, как правило большего значения. При этом разница между током нагрузки в расчетном узле I_{Hj} и номинальным током защитного аппарата I_{Hz} может быть существенна и не обеспечивает эффективное время срабатывания. Подставлять в неравенство (2) номинальный ток защитного аппарата нельзя, так как в этом случае не будут учитываться параметры нагрузки. В статье предлагается следующее решение. Определяется число опор со светильниками от точки подключения до узла $jс$ защитным аппаратом:

$$n = \frac{R_{\Sigma} - I_{Hz} \sqrt{3}U_n \cos \varphi}{P_{Hj}} \quad (3)$$

где P_{Σ} – суммарная нагрузка системы электроснабжения, Вт.

После расчета токов короткого замыкания, номинальный ток защитного аппарата выбирается не более чем $1/K$ тока короткого замыкания. Далее определяется значение n после подстановки в (3) значения номинального тока защиты. Проверяется неравенство (2), корректируется n , если условия не выполняются. На практике достаточно выбрать узел установки защиты на единицу меньше расчетного. Далее рассчитывается ток короткого замыкания в этом узле и определяется участок сети для эффективной защиты. Выполняется расчет для всей электрической сети. В конце выбирается защитный аппарат для установки в точке подключения. Секционирование позволяет сохранять освещение на значительных дистанциях автодороги при замыканиях на последних участках сети.

Одним из эффективных способов повышения безопасности автомобильных дорог является светофорная сигнализация. Прокладка кабельной линии для электроснабжения светофора является основной расходной статьёй строительно-монтажных работ по обустройству светофорной сигнализации.

Для электроснабжения линии наружного освещения автомобильной дороги применяется четырехжильный кабель, сечение которого рассчитывается в соответствии с нагрузкой. На выходе кабеля из подстанции устанавливается пункт автоматизированной системы управления наружным освещением (АСУНО), который обеспечивает оперативное включение светильников в зависимости от уровня освещенности и выполняет переключение режимов работы сети наружного освещения. Автором предлагается для отходящих фидеров из подстанции применять пятижильный кабель, пятую жилу которого использовать для электроснабжения светофорной сигнализации. Пятую жилу кабеля выводят мимо блока управления наружным освещением. Такой вариант подключения светофоров на автомобильных дорогах существенно экономит затраты на прокладку и обслуживание кабельных линий для светофоров.

Изложенная в статье методика и способ электроснабжения светофорной сигнализации позволяют решить следующие задачи:

1. Определить расчетным путем место установки защитных аппаратов в протяженных линиях наружного освещения автомобильных дорог.
2. Повысить эффективность действия защитных аппаратов при возникновении коротких замыканий в линиях наружного освещения и увеличить надежность и эффективность работы наружного освещения автомобильных магистралей.

3. Обеспечить нормальную работу части линии наружного освещения при аварии в конце линии.

4. Существенно снизить расходы на электроснабжение светофорной сигнализации.

Эффективность и работоспособность предложенной в статье методики, а также способ электроснабжения светофорной сигнализации подтверждены успешным прохождением государственной технической экспертизы и реализованным проектом линий наружного освещения и систем электроснабжения светофоров на ключевых автомагистралях в городе Самара.

Литература

1. Недосекина В.В., Айыдов Д.Н. Анализ влияния уличного освещения на ДТП // Символ науки, 2018. № 7. С. 38–40.

2. Айзенберг Ю.Б., Матвеева Е.Ю., Юшков Д.Д. О состоянии наружного освещения городов страны // Светотехника, 2012. № 6. С. 42–43.

3. Дехофф П. Качество освещения и энергоэффективность не противоречат друг другу // Светотехника, 2012. № 3. С. 64–68.

4. Будак В.П., Ильина Е.И. Выбор показателей эффективности светильников утилитарного наружного освещения на этапе разработки // Светотехника, 2012. № 5. С. 45–50.

5. ОДМ 218.6.003-2011. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. М.: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР), 2013. 69 с.

6. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2018 года. Информационно-аналитический обзор // ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2018. Доступно по: URL: <https://xn--90aga7a7b.xn--b1aew.xn--plai/news/item/14833158?year=2019&month=9&day=2>. Ссылка активна на 01.12.2020.

7. Карпов Ф.Ф., Козлов В.Н. Справочник по расчету проводов и кабелей 2-е изд. М.: Энергия, 1964. 224 с.

8. Гардин А.И., Шарыгин М.В., Шевченко А.С. О расчёте электрической сети уличного освещения с осветительными приборами, работающими в режиме поддержания заданного энергопотребления // Светотехника, 2011. № 4. С. 22–25.

9. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2006. 45 с.

10. Грудинский П.Г. Электротехнический справочник // Т. 1.: справочник 5-е изд., испр. М.: Энергия, 1974. 776 с.

УДК 621.313.282.3

МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ ШАГОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Галимова Зульфия Расиховна, Сандаков Виталий Дмитриевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zuzulyalya@mail.ru, vitalysandakov@gmail.com

В данной статье рассмотрен магнитострикционный шаговый двигатель, его преимущества и недостатки. Предложены способы для улучшения конструкции шагового двигателя. Также рассмотрено как биметаллическая пластина (диск) влияет на трение в месте соединения конструктивных элементов. Проведён анализ сравнения применения биметаллической пластины с одинаковыми коэффициентами магнитострикции и с различными.

Ключевые слова: шаговый двигатель, магнитострикция, биметаллическая пластина, диск, трение.

MAGNETOSTRICTIVE STEPPER MOTOR

Galimova Zulfiya Rasikhovna, Sandakov Vitaly Dmitrievich

This article discusses magnetostrictive stepping motor, its advantages and disadvantages. Methods are proposed for improvement of stepper motor design. It is also considered how a bimetallic plate (disk) affects friction at the junction of structural elements. Analysis of comparison of the use of a bimetallic plate with the same magnetostriction coefficients and with different ones was carried out.

Keywords: stepper motor, magnetostriction, bimetallic plate, disk, friction.

Магнитострикционные шаговые двигатели – это специальные короткоходные линейные приводы. Принцип действия данных двигателей основан на магнитострикционном эффекте, то есть изменение микроструктуры и линейных размеров вещества под действием магнитного поля [2].

Рассматриваемый двигатель имеет как множество достоинств, так и недостатков. К достоинству относится высокая скорость непрерывной циклической работы. Также преимуществом магнитострикционных шаговых двигателей является то, что магнитострикционные материалы не деградируют со временем и устойчивы к перегревам, при остывании они восстанавливают свои свойства. Однако они требуют высокой напряженности магнитного поля, потому что актуаторы на их основе потребляют большой ток. К недостатку данного вида двигателя относится инерци-

онность, она обусловлена процессами в намагничивающей катушке. Основным его недостатком считается низкая точность осуществления перемещения магнитострикционного элемента, что связано с наличием кинематических звеньев, люфта и трений в месте соединения неподвижной оси к планке. Активный элемент и обмотка возбуждения не являются твердотельной конструкцией и потому наблюдаются низкие функциональные возможности. Также следует учесть тот факт, что данный элемент не используется в наборном исполнительном элементе.

Исходя из выше сказанного, проведем анализ возможностей улучшения конструкции магнитострикционного шагового двигателя для повышения его эффективности и точности.

Известны магнитострикционные приводы линейных перемещений, содержащие катушку, которая создает магнитное поле, а также элемент, выполненный в виде стержня, перемещаемый линейно под воздействием магнитного поля. В отличие от известных магнитострикционных приводов, в предлагаемом магнитострикционном приводе линейных перемещений элемент, на который воздействует магнитное поле и вследствие этого он перемещается линейно, выполнен в виде одной или нескольких биметаллических пластин или дисков. В этих пластинах или дисках один из металлов обладает магнитострикционными свойствами. При данном исполнении магнитострикционного привода линейных перемещений увеличивается длина импульсных перемещений при одновременном уменьшении габаритов привода [1].

На рис. 1 изображена схема предлагаемого привода; на рис. 2 и 3 приведены примеры его применения.

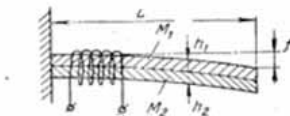


Рис. 1. Схема магнитострикционного привода линейных перемещений

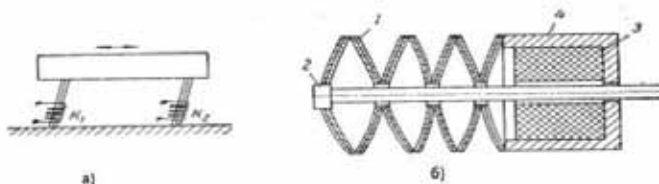


Рис. 2 (а,б). Примеры применения магнитострикционного привода линейных перемещений

В поле катушки, создающей магнитное поле, находится плоская пружина из спая двух металлов M_1 и M_2 . Один из материалов не обладает магнитострикцией, другой должен быть ферромагнетиком с явной магнитострикцией (к примеру, никель, альфер и т. д). Когда через катушку проходит ток, то у одного из слоев спая наблюдается изменение его длины (увеличение, либо уменьшение) и конец спая изгибается. Происходящее явление будет подобно изгибу термобиметаллической пластины. При этом магнитопровод должен быть замкнут тем или иным способом в зависимости от конструкции.

Обозначая относительную магнитострикцию $\frac{\Delta L}{h}$ через λ , получим удлинение прямого стержня $\Delta h = \lambda L$. Прогиб магнитострикционного биметалла:

$$f = \frac{3}{4} \cdot \frac{\lambda}{h_1 + h_2} \cdot L^2,$$

где h_1 и h_2 – толщины слоя каждого металла.

Данная применима в том случае, когда толщины слоев выбираются по формуле:

$$\frac{h_1}{h_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}},$$

где E_1 и E_2 – модули упругости соответствующих материалов.

Относительное увеличение перемещения:

$$f_1 \Delta L = \frac{3}{4} \cdot \frac{L}{h_1 + h_2}.$$

Исходя из того, что отношение длины к толщине пластинки может быть достаточно большим, то с помощью предлагаемого метода можно значительно увеличить магнитострикционные перемещения. Если выполнить биметалл из двух металлов, имеющих магнитострикцию разного знака (например, никель и альфер), то можно увеличить эти перемещения.

Тогда величина прогиба пластинки изменится в большую сторону:

$$f = \frac{3}{4} \cdot \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{h_1 + h_2} \cdot L^2.$$

На рисунке 2 а изображен привод вибратора с плоскими магнитоотрицательными пружинами. Пружины изгибаются при прохождении тока в катушки K_1 и K_2 , возвращаются в исходное состояние – при исчезновении. Величина частоты вибрации вдвое больше частоты переменного тока.

На рисунке 2 б представлен привод подачи металлорежущего станка. Сваренные по концам друг с другом биметаллические диски 1, являются движущими элементами. Из-за особого размещения дисков, в случае наложения магнитного поля увеличивается кривизна самих дисков. Тогда, конец стержня 2, связанный с последним диском, совершает перемещение влево. Заключенная в гильзу 4, магнитная катушка 3 создает магнитное поле. Между стержнем 2 и дисками следует оставить воздушный зазор. Подобный привод может обеспечить достаточно большие перемещения (их предел имеет зависимость от числа дисков) и обладает всеми положительными свойствами, которые присущи магнитоотрицательным приводам.

Следует заметить, что для магнитоотрицательного элемента, содержащего биметаллическую пластину, слои которой выполнены из материалов с разными коэффициентами магнитоотрицательности, требуется большое разнообразие видов магнитоотрицательных материалов. Данный факт осложняет технологичность конструкции. Точность обработки перемещения при применении разных материалов ухудшается из-за возникающей температурной погрешности.

Поэтому, в магнитоотрицательном исполнительном элементе, содержащем активные слои и намагничивающую обмотку, все активные слои образуют с намагничивающей обмоткой твердотельную гибкую пластину и помимо этого, выполнены из материалов с одинаковым по знаку коэффициентом магнитоотрицательности. Половины слоев имеют свою обмотку намагничивания, они расположены в разных сторонах от нейтральной плоскости изгиба. Следует заметить, что при этом магнитоотрицательные слои выполнены прямоугольной формы с прямоугольным отверстием посередине. Обмотка уложена так, что ее составляющие охватывают части магнитоотрицательного слоя, расположенные на противоположных сторонах от отверстия. Активные слои могут быть выполнены из одного магнитоотрицательного материала.

При применении одного материала, конструкция становится более технологичной, а также повышается точность, по причине того, что температурные изменения слоев станут равными. Также, будет наблюдаться взаимокompенсация и это приведет к исключению биметалли-

ческого прогиба на величину рабочей изгибной деформации. В случае ввода в конструкцию обмоток для каждого слоя совершаются рабочие прогибы пластины в двух направлениях от начального состояния. Также, стоит упомянуть тот факт, что в случае исполнения магнотриксционного элемента в виде монолитной пластины можно произвести параллельный и последовательный набор нескольких тонких элементов в устройство в соответствии с поставленной целью, и в дополнении можно применить кодовый или цифровой принципы управления данных наборных устройств. Изготовление пластины предложенной формы дает возможность магнитному потоку замыкаться по контуру активного слоя, тем самым обеспечивая полную его намагниченность и сильную магнитную связь этого активного слоя со своей обмоткой намагничивания, вследствие чего, есть возможность получить увеличенные конечные характеристики из-за раздельного намагничивания отдельных активных слоев.

На рис. 3 представлен рассматриваемый исполнительный элемент; на рис. 4 один из вариантов намотки обмоток.

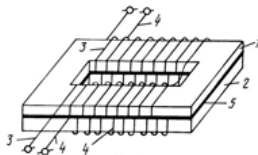


Рис.3. Магнотриксционный исполнительный элемент

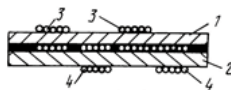


Рис.4. Намотка обмоток в исполнительном элементе

Магнотриксционный исполнительный элемент (рис. 3) включает в себя биметаллическую пластину, активные слои 1 и 2 выполнены из одного магнотриксционного материала (например, пермендюра). Данные слои расположены внутри охватывающих их обмоток 3 и 4 продольного намагничивания соответственно. При этом слои 1 и 2 имеют жесткую связь с обмотками 3 и 4 по продольным плоскостям, и соединены между собой при помощи клеявого соединения 5 в монолитную пластину.

На рисунке 4 представлен один из вариантов размещения обмотки. Для уменьшения клевого соединительного слоя 5 (между активными слоями 1 и 2) обмотки 3 и 4 секционированы с согласным включением секций в каждом слое. Эти обмотки уложены таким образом, что витки одной секции обмотки 3 чередуются по длине с витками секции другой обмотки 4. Следует заметить, что прогиб элемента увеличивается за счет такого выполнения соединительного слоя.

Таким образом, для решения проблемы и с целью повышения эффективности точности, следует в биметаллической пластине слои выполнять из материалов с равными коэффициентами магнитострикции. Помимо этого, необходимо ввести обмотки для всех слоев, чтобы пластины совершали рабочие прогибы в двух направлениях. Для того чтобы уменьшить трения в месте соединения неподвижной оси к планке, нужно оставить воздушный зазор между стержнем и диском.

Литература

1. Кусимов С.Т., Грахов П.А, Тлявлин А.З, Лебедев В.А, Боголюбова Ю.В. Патент на изобретение № SU 1369619 А1, МПК: H01L41/12. Магнитострикционный шаговый двигатель линейных перемещений. Уфимский авиационный институт. Серго Орджоникидзе; заявлено 16.05.86; опубл. 07.07.1993, Бюл. № 25
2. Рахимов А.В. Примеры использования линейных двигателей // Международный научно-инновационный центр (Москва), 2015. №11(51)
3. Иванов И.Ю. Уменьшение влияния погрешностей электромагнитных трансформаторов тока в переходных режимах на работу дифференциальной защиты энергообъектов // Энергетика Татарстана, 2011. № 3. С. 67–70.
4. Федотов А.И., Роженцова Н.В., Вагапов Г.В. и др. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // патент на полезную модель RUS 72543 07.12.2007.
5. Иванова В.Р., Дони Н.А., Иванов И.Ю. «Моделирование дифференциальной защиты линий электропередачи, работающей на базе векторных значений токов», г. Чебоксары, научно-технический журнал «Релейная защита и автоматизация», 2014. № 1. С. 26–29.
6. Федотов А.И., Ахметвалеева Л.В., Басыров Р.Ш. и др. Нормирование амплитуды высших гармоник при определении фидера с однофазным замыканием на землю // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. С. 58-68.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА

Гельдыева Разиля Азатовна, Панкова Полина Викторовна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
razilyaurum25@gmail.com, polina030@yandex.ru

В данной работе приводится анализ использования имитационного моделирования в целях построения моделей, описывающих те или иные процессы производства, экспериментальные исследования и т.п. Примером исследования выбрано программное обеспечение AnyLogic, представляющий возможность создания динамических моделей для тестирования решений.

Ключевые слова: Anylogic, программное обеспечение, разработка моделей, инструмент, элементы, программа.

SIMULATION MODELING FOR THE ANALYSIS AND EVALUATION OF THE FUNCTIONING OF THE OBJECT

Geldyeva Razilya Akhatovna, Pankova Polina Viktorovna

This paper provides an analysis of the use of simulation modeling in order to build models that describe certain production processes, experimental studies, etc. An example of the study is the AnyLogic software, which represents the possibility of creating dynamic models for testing solutions.

Keywords: Anylogic, software, model development, tool, elements, program.

В жизни часто отсутствует возможность представления реальной ситуации, выполнения анализа событий, возможность наблюдения за динамикой изменений, представления модели поведения и др. Отсутствие таких возможностей объясняется нехваткой денежных средств, сложностью воспроизводства событийного процесса, рисками проверки теории и т.п. Поэтому является актуальным использование и внедрение такого программного обеспечения, которое позволит симитировать или представить в виртуальном пространстве объект исследования и представит полный анализ динамики его работы и анимации в 2D или 3D-формате.

Имитационное моделирование - новшество которое уже давно стали применять в различных отраслях жизни, развивается оно достаточно стремительно, если раньше этим могли пользоваться только крупные фирмы, обладающие финансовыми ресурсами, сейчас же этим может воспользоваться любой пользователь ПК. Перспектива моделирования

заключается в том, что данная технология позволяет создавать и модифицировать модели без вреда реальности, а также эксплуатировать и получать анализ конечного результата работы. На данный момент существует множество программных обеспечений с различными предназначениями. Наиболее популярными для системы Windows, Mac, Linux являются: Simino, FlexSim, SIMUL8, WITNESS, Any Logic. Каждая из этих программ имеет свою специфику, некоторые из них могут совмещаться в себе несколько видов имитационного моделирования, некоторые специализируются только на определенных системах (здравоохранения, производства, складирования и т. д.) [1, 2].

Исследование преимуществ имитационного моделирования рассмотрим на примере программы Any Logic. В представленной работе использовались дискретно-событийное и агентское моделирование. Под агентами подразумеваются различные элементы самой системы (это могут быть люди, банки, регионы, машины, роботы и т.д) в проделанной работе агентами были люди, агент может иметь память, поведение и так далее (рис. 1).

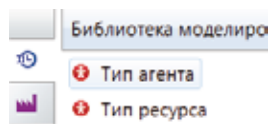


Рис. 1. Внешний вид агентов в программе Any logic

Можно задавать события внутри агента. У каждого из них есть свойства, которые регулируются, например в нашей очереди люди должны подходить к банкоматам через определенный промежуток времени. События в работе происходят в хронологической последовательности, есть возможность ускорить или замедлить процесс с помощью единицы модельного времени. Плюсом является то, что не нужно писать сложные математические уравнения. Для того чтобы создать ситуацию пользователь должен воспользоваться специальной библиотекой (дорожная, моделирование потоков, железнодорожная пешеходная, моделирования процессов, производственных систем), она содержит в себе элементы для решения различных задач. Каждая операция в системе происходит в определенной последовательности, есть возможность детально проследить за работой модели, в случае неудачи пользователь может внести изменения, чего в реальной жизни быть не может. В проделанной

работе определяется сколько человек пойдет к банковским служащим, сколько к банкоматам. Агенты (люди) являются заявками, а банкоматы ресурсами, то как движется очередь будет описываться непрерывной системно-динамической программой. Отсюда следует, что смешение разных подходов дает возможность описать процесс таким какой он есть в реальной жизни, а не просто подгонять под математический аппарат. Кроме того, всегда есть возможность запустить вашу модель не только через ПК, но и через телефон, хорошее преимущество иметь доступ из любой точки. Есть возможность создавать комбинации из известных методов моделирования, например в проделанной работе использовались агентное и дискретно-событийное моделирование. Можно смешивать все три вида доступные в Any Logic (дискретно-событийное, агентское и системную динамику). В процессе работы пользователь может проверять каждый свой шаг, то есть вероятность ошибки или неудачи уменьшается, кроме этого имитационное моделирование делает анализ проделанной работы. Any Logic обладает хорошей графикой, которая дает визуальное представление о проделанной работе (рис. 2).

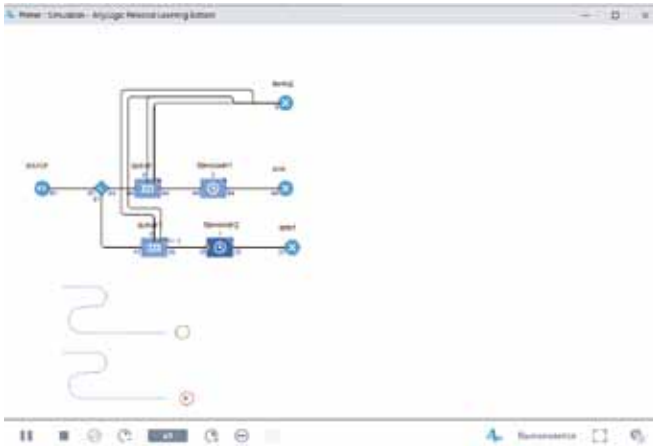


Рис. 2. Графический запуск модели

Есть динамические графические элементы, по необходимости можно сделать их зависимыми от переменных и параметров модели [3, 4]. Интерфейс программы достаточно легкий, если у вас уже есть шаблоны, то можно использовать их в работе с новой моделью, но для понимания

требует интенсивного изучения. Если внимательно изучить программу, то можно найти примеры различных работ в самых разных областях жизнедеятельности. Такое программное обеспечение является хорошим инструментом для изучения новых объектов и их поведения в любой заданной ситуации.

Делая вывод о проделанной работе, можно выявить несколько преимуществ имитационного моделирования в целом. Это хорошая площадка для изучения новых инструментов, моделей массового обслуживания, а также систем с дискретно событийным характером. Возможность модернизировать модель в системе. Определять требования к оборудованию. Проводить опыты которые могут длиться несколько лет, в программном обеспечении могут быть проделаны за пару минут, это значительно упрощает многие процессы и экономит время. Бюджет остается целым, многие события невозможно осуществить из-за их дороговизны. Некоторые задачи невозможно воплотить в жизнь в силу их нелепости или же по этическим соображениям. Осуществление анализа больших систем, возможность управлять ситуацией без особых усилий. Пользователь может получать сведения о состояниях процесса в разные моменты времени, что позволяет вовремя выявить ошибку. Мы получаем максимально приближенны знания об объекте, не производя его измерения.

Имитационное моделирование дает нам возможность имитировать задачи непосильные для реальности, стоит задуматься о том, чтобы ввести это в нашу повседневную жизнь. Очень часто мы прибегаем к примерам, пытаемся объяснить с помощью речи, пространственного мышления, делаем рисунки, в записной книжке, для того чтобы спроецировать, объяснить поведение модели, ситуации, решить задачу, но ведь все это можно сделать с помощью программного обеспечения, сейчас его более чем достаточно для разных ситуаций. Хороший визуал, легкий интерфейс упростят нам жизнь и помогут решить множество задач с выгодой и пользой.

Литература

1. Any Logic Personal Learning Edition: программное обеспечение [для образовательных целей] / разработчик The Any Logic Company. – Санкт-Петербург: 2017.
2. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Семенова О.Д. Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы

с активно-адаптивной сетью // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2019. С. 12–17.

3. Иванова В.Р., Даутов Р.Р. Инновационная технология для эффективной эксплуатации устройств мониторинга электротехнических комплексов и систем // Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов», 2019. С. 195–199.

4. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Санкт-Петербург, 2006. 400 с.

5. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин. Промышленная энергетика, № 5, 2014. С. 27–30.

6. Наумов А.А. Обеспечение требуемого качества электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 85–92.

УДК 628.979

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Денисова Алина Ренатовна, Янов Тимофей Александрович.
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
denisova_ar@mail.ru, yanovtimofeii@mail.ru

Рассматривается влияние светодиодных источников света на электрическую сеть.

Ключевые слова: светодиодное освещение, несинусоидальность, снижение качества электроэнергии, активный фильтр гармоник, высшие гармоники, драйвер.

STUDY OF THE EFFECT OF LED LIGHTING ON ELECTRIC POWER QUALITY

Denisova Alina Renatovna, Yanov Timofei Alexandrovich

The influence of LED light sources on the electrical network is considered.

Keywords: LED lighting, non-sinusoidal, power quality degradation, active harmonic filter, higher harmonics, driver.

В электрических сетях, где в освещении используются приборы на основе светодиодов, можно наблюдать значительные искажения формы

кривых токов. Любая нелинейная нагрузка генерирует в сеть высшие гармоники, которые пагубно влияют на электрическую сеть. При проектировании новых решений по разработке и модернизации электроустановок, проектировщик не берет во внимание возникновение высоких показателей нелинейных характеристик из-за драйверов светодиодных светильников, гармонические составляющие тока и напряжения, генерируемую реактивную мощность в сети, также возникновение импульсных токов в момент пуска и влияние данных факторов на электромагнитную совместимость [2].

Светодиодные лампы являются нелинейным потребителем, тем самым они выступают в роли источника высших гармоник токов, протекающих в сети. Тем самым они вызывают повышения уровня несинусоидальности напряжения в сети.

Несинусоидальность напряжения увеличивает потери напряжения и мощность в сетях, уменьшает их пропускную способность, нарушает нормальную работу и уменьшает срок службы электрооборудования [3].

Гармонические составляющие токов появляются с однофазной нагрузкой и имеют пагубное воздействие на трехфазную сеть. При сбалансированной пофазной нагрузке синусоидальные токи имеют сдвиг по фазе равный 120 градусам относительно друг друга. В результате этого сумма токов в нейтрали равна нулю и падение напряжения на нулевом проводнике будет отсутствовать [1].

Нечетные гармоники кратные трем в трехфазных цепях могут совпадать по фазе, в результате этого образуется нулевая последовательность. Гармоническая составляющая в этом случае будет суммироваться в нулевом проводнике и составлять большую часть действующих значений фазных токов. В результате чего общий ток в нулевом проводнике может превысить фазный [4].

Снижение качества электроэнергии приводит к следующим последствиям: перегреваются и разрушаются нулевые проводники линий; ускоряется старение изоляции; в электронных узлах учета и системах АСКУЭ (автоматизированная система контроля учета электроэнергии) искажаются считываемые показания; возникают ложные срабатывания автоматических выключателей из-за дополнительного нагрева внутренних элементов защитных устройств; помехи в сетях телекоммуникаций, возникают в тех местах, где кабели телекоммуникаций и силовые кабели расположены относительно близко. В следствие протекания в силовых кабелях высокочастотных гармоник тока, в кабелях телекоммуникаций будут наводиться помехи [6].

В настоящее время для баланса нагрузок электрических сетей, на нужды освещения приходится 10–20 % от выделенной потребляемой мощности.

Переход на новые энергосберегающие технологии освещения может привести к существенному ухудшению качества электроэнергии, сбоям работы электрооборудования и электромагнитной совместимости.

Для того чтобы уменьшить гармонические искажения тока, возникающие из-за нелинейной нагрузки, следует применять активный фильтр гармоник.

Активный фильтр гармоник (АФГ) анализирует параметры сети, формирует и генерирует противофазные сигналы, которые подавляют паразитные гармоники. Мощность АФГ определяется среднеквадратическими значениями мощностей гармоник всего спектра влияющего на сеть. В точке подключения АФГ гармонические искажения нейтрализуются, как показано на рисунке 1.

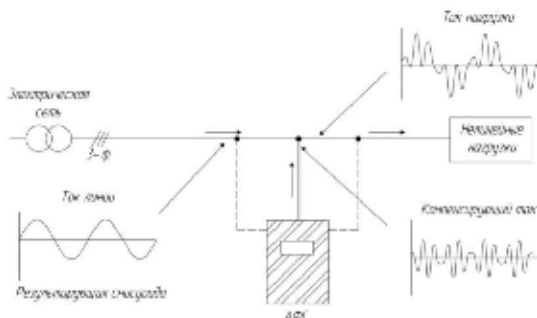


Рис. 1. Принцип работы шунтирующего активного фильтра

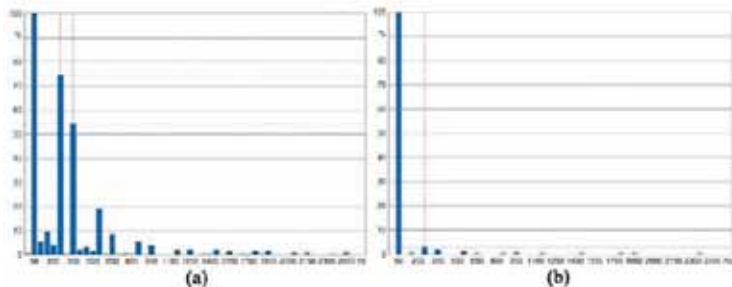


Рис. 2. Частотная диаграмма гармонических искажений: (а) – без фильтра, (б) – с активным фильтром

Светодиодное освещение имеет широкое распространение в современном мире и существует большая тенденция к дальнейшему увеличению их количества. Несмотря на то, что такое освещение имеет малую мощность электропотребления, их применение в большом количестве несет причину значительных искажений синусоидальности кривых напряжения. Чтобы уменьшить их влияние, следует использовать АФГ, который позволяет устранять нечетные гармоники [5].

Литература

1. Денисова А.Р., Закирова З.Р. Спектральный анализ искусственных источников света // В сборнике: Фёдоровские чтения – 2018 XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной, 2018. С. 162–165.

2. Денисова А.Р., Панов Д.Ю. Энергоэффективные мероприятия административных учреждений // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): V Всероссийская научно-техническая конференция, Тольятти, 1-2 ноября 2017 года: сборник трудов. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 268–272.

3. Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // Электроэнергия. Передача и распределение, 2020. № 1 (58). С. 38–39.

4. Борисов А.Н., Шириев Р.Р. Светодиодный источник света с повышенной светоотдачей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 1-2. С. 111–119.

5. Иванова В.Р., Садыков М.Ф. Современные светодиодные технологии / монография в двух томах «Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике», ФГБОУ ВПО «Казанский Государственный энергетический университет». Под ред. Э.В. Шамсутдинова и О.С. Зуевой. Казань, 2014. Т. II, С. 178–201.

6. Сайфутдинова В.Р., Тукшаитов Р.Х., Алхамс Я.Ш. Обеспечение энергоресурсосбережения при питании светодиодных ламп от гальванических элементов // Изв. вузов. Проблемы энергетики, 2010. № 11–12. С. 108–114.

7. Зиганшин М.Г. Методика оценки эффективности генерации на тепловых электрических станциях с учетом выброса загрязнителей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 6. С. 29–38.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Дубровский Богдан Владимирович, Вихров Михаил Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва, Россия
dubrovskybogdan@yandex.ru, VikhrovMY@mpei.ru

Стремительное развитие промышленности, информационной техники, медицины, военной и других важных отраслей приводят к росту числа ответственных потребителей. Прерывание, провалы, броски, понижение или повышение напряжения, отклонение частоты, гармонические искажения и помехи могут носить критический характер. Рост числа таких потребителей, приводит к необходимости искать и находить новые рациональные способы обеспечения бесперебойного электроснабжения [1].

Ключевые слова: динамический ИБП, статический ИБП, электроснабжение, качество электроснабжения, байпас, преобразование, хранение.

THE USE OF UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEMS IN POWER SUPPLY SYSTEMS

Dybrovskiy Bogdan Vladimirovich, Vikhrov Mikhail Evgenyevich

The rapid development of industry, information technology, medicine, military and other important industries leads to an increase in the number of responsible consumers. Interruptions, dips, surges, undervoltage or overvoltage, frequency deviation, harmonic distortion and interference can be critical. The growth in the number of such consumers leads to the need to look for and find new rational ways to ensure uninterrupted power supply [1].

Keywords: dynamic UPS, static UPS, power supply, power quality, bypass, conversion, storage.

Бесперебойное питание – это агрегат, задача которых состоит в стабильности параметров питающего напряжения в установленных пределах при их отключениях. Источники бесперебойного питания делятся на две группы, динамические и статические.

Динамический ИБП (ДИБП) – это генераторная установка, предназначенная для электроснабжения потребителей первой категории и особых групп потребителей, принцип действия которых основывается на использовании электромеханических накопителей энергии. Основной принцип ДИБП состоит в том, что на входе такая система получает искаженную синусоиду, а на выходе система «мотор-генератор» дает потребителю уже «чистую» синусоиду.

Они применяются в таких отраслях, как медицина, финансовая сектор, промышленность, фармакология, правительственные учреждения,

военные объекты, телекоммуникация и др. Эти отрасли нуждаются в надежном электроснабжении, при этом мощности, которые нужно резервировать достаточно большие и могут достигать нескольких МВт. Основным элементом динамического ИБП является мотор-генератор, который представляет собой синхронный электродвигатель. К основным элементам ДИБП относятся, мотор-генератор, электромеханический накопитель, дизельная установка, фильтр.

Маховиком, или электромеханическим накопителем, называют устройство, запасующее и хранящее механическую энергию, с последующим ее преобразованием в электрическую. За счет своей большой массы маховик накапливает кинетическую энергию, а при необходимости, ее отдает.

Стоит отметить, что ДИБП может работать и без дизельной установки, что, в свою очередь, уменьшает время автономной работы, т. к. энергия, которая запасена на маховике, хватит на относительно небольшой промежуток времени работы.

Преимущества дизель-роторных ИБП:

- высокие выходные показатели (мощность одной установки от 500 до 2500 кВА);
- компактность и простота;
- надёжное бесперебойное электроснабжение;
- улучшение качества электроэнергии;
- существенное улучшение показатель безотказной работ.

Недостатки:

Шум и выбросы продуктов сгорания (если с дизельной установкой).

Статический источник бесперебойного питания представляет из себя совокупность преобразователей, переключателей и устройств хранения электроэнергии в аккумуляторных батареях.

ИБП резервного типа (off-line). Самый распространенный тип ИБП, предназначен для защиты персональных компьютеров и других электронных приборов от прерывания, провалов, бросков, понижения или повышения напряжения [2]. Диапазон мощностей доходит до 2 кВА.

Преимущества такого типа ИБП:

- простота схемы;
- дешевизна;
- малые габариты;
- бесшумность работы в штатном режиме.

Однако ИБП резервного типа имеет и ряд недостатков, среди которых стоит выделить:

- нет фильтрации и стабилизации выходного напряжения, поэтому помехи, возникающие в городской сети, питают нагрузку, что может привести к выходу ее из строя;
- происходят постоянный переход ИБП в режим автономной работы и наоборот, даже при незначительных бросках напряжения, что приводит к сокращению срока службы аккумуляторных батарей.
- время перехода на автономную работу достаточно большое (3–15 мс).

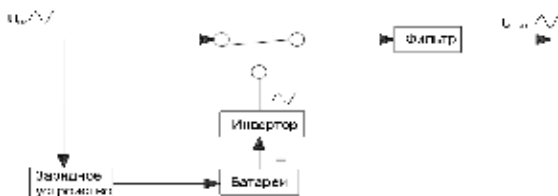


Рис. 1. Структурная схема ИБП резервного типа

ИБП линейно-интерактивного типа (line-interactive) используют для защиты корпоративных сетей и информационных систем от прерывания, провалов, бросков, понижения или повышения напряжения [2]. В штатном режиме ИБП управляется с помощью микропроцессора, который выполняет мониторинг качества сетевого напряжения и реагирует на любые его изменения и регулируется напряжение автотрансформатором. Если не получается скорректировать напряжение, ИБП переключается на батареи. Диапазон мощностей доходит до 10 кВА.

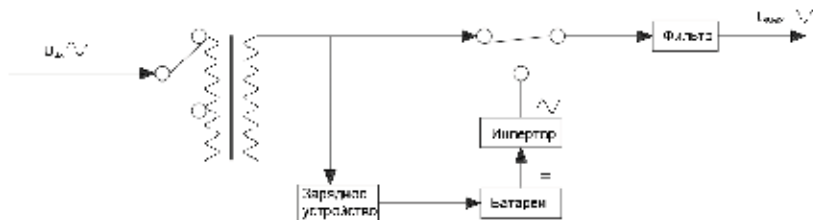


Рис. 2. Структурная схема ИБП линейно-интерактивного типа

Среди преимуществ такого типа ИБП выделяют:

- относительная маленькая стоимость;
- относительная стабилизация и фильтрация выходного сигнала напряжения в нормальном режиме работы;

- имеют широкий диапазон колебаний входного напряжения;
- бесшумность работы в штатном режиме.

Однако существует и ряд недостатков, среди которых следует отметить:

- отсутствие разделения нагрузки и питающей сети;
- нет возможности регулирования выходной частоты;
- имеют слабую защиту от перенапряжений и бросков;
- время перехода на автономную работу достаточно большое (3-15 мс).
- при работе на нелинейную нагрузку наблюдается низкий КПД.

ИБП с двойным преобразованием (on-line). Он предназначен для непрерывной защиты критически важного оборудования от всех проблем с электропитанием [2]. Выпрямитель не только подзаряжает батарею, но и снабжает инвертор постоянным напряжением. Если из сети поступает нормальное напряжение, вся необходимая для питания нагрузки мощность проходит через выпрямитель ИБП. Он преобразует переменное напряжение в постоянное, и используется для питания инвертора и заряда батареи. Инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное и питает нагрузку. В случае, если напряжение падает до значений, критичных для нагрузки, инвертор начинает получать питание от батареи. При восстановлении напряжение до номинального значения, выпрямитель заряжает батарею и питает инвертор. В случае, если инвертор выходит из строя или случается его перегрузка, система переключается на байпас, нагрузка при этом питается напрямую от сети. Диапазон мощностей с 10 кВА.



Рис. 3. Структурная схема ИБП с двойным преобразованием

Преимущества в сравнении с другими типами ИБП. Среди них:

- высокая стабильность выходного напряжения;

- синусоидальная форма выходного напряжения при питании ИБП от внешней сети;
- обеспечивается изоляция нагрузки от вышестоящей сети, помехи не могут попасть в контур питания нагрузки;
- существует возможность регулировки выходного напряжения;
- переход в автономный режим работы происходит практически мгновенно, нагрузка не испытывает перерыва электроснабжения.

Существуют и недостатки:

- имеют достаточно большую стоимость;
- высокий уровень шума, КПД ниже, чем у остальных.

Выводы: ИБП может обеспечить электроэнергией, как целое здание, так и отдельного потребителя. Их применение гарантирует высокую надежность работы приборов и устройств. Обычно они подключаются к сети переменного тока и предназначены для улучшения качества электроэнергии или резервирования источника питания. ИБП являются незаменимым элементом в системе современного электроснабжения. Их значимость неоспорима как для промышленных и стратегических объектов, так и для повседневной жизни людей.

Однако в нашей стране практически отсутствует нормативная база описывающая особенности внедрения ИБП в системы электроснабжения, что приводит к сложностям при выборе того или иного типа ИБП и построении системы питания и защиты за ними. Разработка соответствующих методик и нормативов является актуальнейшей задачей.

Литература

1. Динамические ИБП // Статьи «Международный Электрический журнал «Электрик» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Доступно по: URL: <http://electrician.com.ua/posts/1405>.
2. Ащеулов Д.В., Маментьева А.О. Источники бесперебойного питания : 0201005.
3. Типы ИБП. Доступно по: URL: <https://lsys.su/news/articles/klassy-ibp.html>.
4. Rozhentcova N.V., Ganin P.V., Rudakov A.I. Structural and computer optimization model of a solar-wind hybrid electrical system in the software environment matlab simulink. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 – Proceedings electronic edition, 2017. С. 8076238.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ РАСТЕНИЙ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА ООО «РЭХН»

Дунаева Татьяна Юрьевна, Дунаев Юрий Владимирович
ФГБОУТВО «Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия
d_t_y@mail.ru, yamaha7770@yandex.ru

Технико-экономическое обоснование модернизации системы освещения растений тепличного комплекса ООО «РЭХН» путем замены устаревших светильников с натриевыми лампами на светодиодные светильники в рамках части блока типлицы площадью 614,4 м².

Ключевые слова: освещение, освещение растений, натриевые лампы, светодиодные светильники, досветка рассады, стимулирование роста растений.

FEASIBILITY STUDY OF MODERNIZATION OF THE PLANT LIGHTING SYSTEM OF THE GREENHOUSE COMPLEX OF LLC «REHN»

Dunaeva Tatyana Yurievna, Dunaev Yuri Vladimirovich

Feasibility study of the modernization of the plant lighting system of the greenhouse complex of LLC "REHN" by replacing outdated lamps with sodium lamps with LED lamps within the part of the greenhouse block with an area of 614.4 m².

Keywords: lighting, plant lighting, sodium lamps, led lights, seedling lighting, plant growth promotion.

На сегодняшний день в тепличном комплексе ООО «РЭХН» для досветки рассады, в качестве искусственного освещения используются светильники ЖСП30РкЭк-600-013У5 с лампами ДНаЗ-600. Данная система освещения уже не удовлетворяет современным тенденциям по надежности, энергоэффективности и безопасности.

Реальная потребляемая мощность натриевых ламп существенно превосходит заявленные производителем показатели. Натриевые лампы довольно чувствительны к перепадам напряжения. Главный же недостаток – необходимость в пуско-регулирующей аппаратуре. Так же натриевые лампы экологически не безопасны из-за паров натрия и ртути в колбе.

В качестве альтернативы натриевым лампам, современное осветительное решение с большей эффективностью для растений и меньшими энергозатратами – светодиодные светильники (СД) [1]. Предлагается применить вместо одного светильника ЖСП с лампой ДНаЗ [4,5] – два светильника АтомСвет ВЮ 100-130 (120) [6]. Модернизация

системы освещения была рассмотрена на примере ООО «РЭХН» блока зимних теплиц №2 в рамках осей А1-А16 1-4 теплицы 1.1 на площади 614,4 м².

Преимущества светодиодных светильников такого типа для освещения растений подтверждены большим опытом их эксплуатации [3].

Для оценки эффективности модернизации существующей системы освещения было проведено согласно стандартной методике [2, 3] технико-экономическое обоснование.

При этом полные приведенные затраты Q_{Π} , капитальные вложения K и эксплуатационные расходы \mathcal{E} рассчитывались, по выражениям [3]:

$$Q_{\Pi} = 0,15K + \mathcal{E} \quad (1)$$

$$K_{\Pi} = N (A + B + M) \quad (2)$$

$$K_M = 2 N (D + M) \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_{\Pi} = N [T (A + a) / t_{\text{ДнаЗ}} + P_{\text{ДнаЗ}} T q] + P_{\text{АМ.ЖСП}} \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_M = 2 N T D / t_{\text{СД}} P_{\text{СД}} T q + P_{\text{АМ.СД}}, \quad (5)$$

где: N – требуемое кол-во светильников ЖСП; A – цена одной лампы ДнаЗ-600, руб.; B – цена арматуры светильника ДнаЗ, руб.; D – цена СД светильника, руб.; M – стоимость монтажа одного светильника, руб.; T – число часов использования максимума осветительной нагрузки в год; a – стоимость работ по замене одной лампы ДнаЗ-600, руб.; $t_{\text{ДнаЗ}}$ – средний срок службы лампы ДнаЗ, ч; $t_{\text{СД}}$ – средний срок службы СД светильника, ч; $P_{\text{ДнаЗ}}$ – мощность лампы ДнаЗ-600, кВт; $P_{\text{СД}}$ – мощность СД облучателя, кВт; $p_{\text{ам}} = 10\%$; q – тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч).

Таблица 1

Исходные данные для расчета затрат

| № | Наименование, ед. | Значение |
|---|--|----------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Мощность ЖСП30РкЭк-600-013У5 с лампой ДнаЗ-600, кВт. | 0,60 |
| 2 | Мощность АтомСвет ВЮ 100-130, кВт. | 0,13 |
| 3 | Стоимость ЖСП30РкЭк-600-013У5 без лампы, руб. | 6 700 |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|---------|
| 4 | Стоимость АтомСвет ВЮ 100-130, руб. | 17 500 |
| 5 | Стоимость лампы ДНаЗ-600, руб. | 2 570 |
| 6 | Время работы светильников в году, ч. | 4 000 |
| 7 | Срок службы лампы ДНаЗ-600, ч. | 25 000 |
| 8 | Срок службы светильника АтомСвет ВЮ 100-130, ч. | 100 000 |
| 9 | Нормативный коэффициент, Ен. | 0,15 |
| 10 | Стоимость электроэнергии, руб/(кВт·ч). | 5,52 |
| 11 | Стоимость монтажа одного светильника, руб. | 100 |
| 12 | Стоимость работ по замене одной лампы ДНаЗ-600, руб. | 100 |

Результаты расчета затрат сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты расчета затрат

| Показатель | | Значение | Ед.изм. |
|------------------|--|----------|-----------|
| К _п | Капитальные вложения для применяемой системы освещения | 1 630,38 | тыс. руб. |
| К _м | Капитальные вложения для модернизированной системы освещения | 6 124,8 | тыс. руб. |
| Э _п | Эксплуатационные расходы для применяемой системы освещения | 2 617,43 | тыс. руб. |
| Э _м | Эксплуатационные расходы для модернизированной системы освещения | 263,46 | тыс. руб. |
| Q _{п.п} | Полные приведенные затраты для применяемой системы освещения | 2 861,99 | тыс. руб. |
| Q _{п.м} | Полные приведенные затраты для модернизированной системы освещения | 1 182,18 | тыс. руб. |

Для оценки эффективности необходима следующая исходная информация о существующей системе освещения (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение систем освещения

| Параметр расчета | Старый вариант системы освещения | Новый вариант системы освещения |
|---------------------|--|---------------------------------|
| Тип светильника | ЖСП30РкЭк-600-013У5 с лампами ДНаЗ-600 | АтомСвет ВЮ 100-130 (120) |
| Мощность лампы, Вт | 600 | 130 |
| Кол-во светильников | 174 | 348 |
| Общая мощность, кВт | 109,62 | 47,05 |

Экономический эффект от внедрения модернизированной системы освещения рассчитан следующим способом [3]:

$$\Delta C_{\text{Э}} = \Delta C_{\text{Э}} - IC. \text{ (тыс.руб.)} \quad (6)$$

где $\Delta C_{\text{Э}}$ – экономия денежных средств, тыс. руб.; IC – инвестиционные затраты на модернизацию системы освещения, тыс.руб.

Экономия денежных средств может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta C_{\text{Э}} = C_{\text{О.П.}} - C_{\text{Э.М.}} \text{ (тыс. руб.)} \quad (7)$$

где $C_{\text{О.П.}}$ – затраты на обслуживание существующей системы освещения, тыс. руб., $C_{\text{Э.М.}}$ – затраты на обслуживание модернизированной системы освещения, тыс. руб.

Затраты на обслуживание существующей системы освещения складываются из следующих составляющих:

$$C_{\text{О.П.}} = C_{\text{Э.П.}} + C_{\text{Р.П.}} \text{ (тыс. руб.)} \quad (8)$$

где $C_{\text{Э.П.}}$ – затраты на оплату электроэнергии существующей системы освещения, тыс. руб., $C_{\text{Р.П.}}$ – затраты на эксплуатационное обслуживание существующей системы освещения, тыс. руб.

Затраты на обслуживание модернизированной системы освещения складываются из следующих составляющих:

$$C_{\text{О.М.}} = C_{\text{Э.М.}} + C_{\text{Р.М.}} \text{ (тыс. руб.)} \quad (9)$$

где $C_{\text{Э.М.}}$ – затраты на оплату электроэнергии модернизированной системы освещения, тыс. руб.; $C_{\text{Р.М.}}$ – затраты на обслуживание модернизированной системы освещения, тыс. руб.

Оплата за потребленную системой освещения электроэнергию без модернизации:

$$C_{\text{Э.П.}} = \sum_{i=1}^i W_{\text{П}i} \cdot T_{\text{Э}i} \text{ (тыс. руб.)} \quad (10)$$

где $W_{\text{П}i}$ – потребление электроэнергии системой освещения за i -й год до модернизации освещения, кВт; $T_{\text{Э}i}$ – тариф на электроэнергию в i -м году до модернизации, руб./кВт*ч.

Оплата за потребленную системой освещения электроэнергию после модернизации:

$$C_{Э.М.} = \sum_{i=1}^i W_{M_i} \cdot T_{Э_i} \quad (\text{тыс.руб.}) \quad (11)$$

где W_{M_i} – потребление электроэнергии системой освещения за i -й год после модернизации освещения, кВт; $T_{Э_i}$ – тариф на электроэнергию в i -й год после модернизации, руб./кВт*ч.

Потребление электроэнергии системой освещения за год без модернизации:

$$W_{П.} = \sum_{i=1}^i P_{П_i} \cdot T_{ГОД_i} \quad (\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (12)$$

где $P_{П_i}$ – установленная мощность системы освещения в i -й год до модернизации; $T_{ГОД_i}$ – время работы осветительной установки за i -й год до модернизации, час.

Потребление электроэнергии системой освещения за год после модернизации:

$$W_{М.} = \sum_{i=1}^i P_{M_i} \cdot T_{ГОД_i} \quad (\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (13)$$

где P_{M_i} – установленная мощность системы освещения за i -й год после модернизации; $T_{ГОД_i}$ – время работы осветительной установки за i -й год после модернизации, ч.

Дополнительная высвобожденная мощность в системе собственных и хозяйственных нужд:

$$\Delta P = P_{П.} - P_{М.} \quad (\text{кВт}) \quad (14)$$

Технико-экономическое обоснование модернизации:

Таблица 4

Результаты расчёта эффекта от модернизации системы освещения растений на светодиодную систему освещения растений

| 1 | Показатель | Значение | Ед.изм. |
|---------|--|----------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| $T_{Э}$ | Тариф на электроэнергию, с НДС | 5,52 | руб. |
| $P_{П}$ | Установленная мощность системы освещения до модернизации | 109,62 | кВт |
| $P_{М}$ | Установленная мощность системы после модернизации | 47,05 | кВт |

Продолжение табл. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------|---|----------|----------|
| $W_{\text{П}}$ | Потребление электроэнергии системой освещения за год до модернизации освещения | 438 480 | кВт*ч |
| $W_{\text{М}}$ | Потребление электроэнергии системой освещения за год после модернизации освещения | 188 200 | кВт*ч |
| $C_{\text{Э.п.}}$ | Оплата за потребленную системой освещения электроэнергию без модернизации | 2 420,41 | тыс.руб. |
| $C_{\text{Э.м.}}$ | Оплата за потребленную системой освещения электроэнергию после модернизации | 1 038,86 | тыс.руб. |
| $C_{\text{О.п.}}$ | Затраты на обслуживание системы освещения без модернизации | 5 037,84 | тыс.руб. |
| $C_{\text{О.м.}}$ | Затраты на обслуживание модернизированной системы освещения | 1 302,33 | тыс.руб. |

Таблица 5

Общие технико-экономические расчеты

| Показатель | Существующая система | Новая система | Экономический эффект |
|--|----------------------|-------------------|----------------------|
| Капиталовложения на модернизацию | – | 1 630,38 тыс.руб. | – |
| Эксплуатационные затраты | 2 617,43 тыс.руб. | 263,46 тыс.руб. | 2 353,97 тыс.руб. |
| Стоимость потребленной мощности электроэнергии | 2 313,8 тыс.руб. | 1 002,65 тыс.руб. | 1 311,15 тыс.руб. |
| Потребление | 419 166 кВт*ч | 181 638,6 кВт*ч | 68,6 % |

Годовой экономический эффект за первый год составляет = -2 911,48 тыс. руб., за второй год = 824,03 тыс. руб. Определение срока окупаемости проекта показано на рис. 1. Как можно видеть, экономический эффект становится положительным через 1,8 лет от внедрения новой системы.

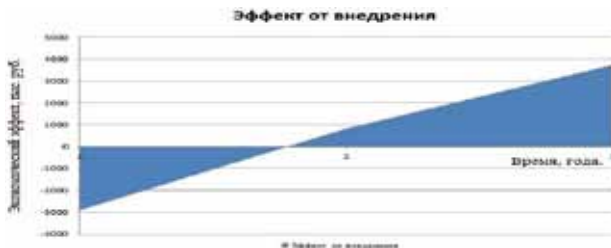


Рис. 1. Определение срока окупаемости модернизации системы освещения

По итогам расчетов можно сделать вывод, что при принятых расчетных условиях модернизация освещения теплицы заменой существующих светильников светодиодными экономически целесообразна.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. 2006. 972 с.
2. Валяев Д.Б., Малышев В.В. Техничко-экономическое обоснование применения светодиодных светильников в теплицах // Инновации в сельском хозяйстве, 2013. №1. С. 55–57.
3. Соколов А.В. Обоснование параметров и разработка широкополосной системы освещения растений в защищенном грунте с резонансным электропитанием: дисс. .: 05.20.02. Москва, 2015. 139 с.
4. Лампа Дна 3 / Рефлекс Ag 600W 220V. Доступно по: URL: <https://reflaks.ru/catalog/natrievye-zerkalnye-lampy-dnaz/lampa-dnaz-reflux-ag-600w-220v.html>.
5. Тепличный светильник ЖСП. Доступно по: URL: <https://reflaks.ru/catalog/teplichnye-svetilniki/teplichnyj-svetilnik-zhsp-30-600-010-u5.html>.
6. Освещение агропромышленных комплексов. Доступно по: URL: <http://www.atomsvet.ru/solutions/agro-industrial-complexes/>.
7. ГОСТ Р 57671-2017 Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия.
8. Боос Г.В. Стандартизация светотехнических приборов и установок для теплиц //Светотехника, 2017. № 6. С. 69–74.

УДК 621.31: 621.383.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛНОЙ ВЕТВИ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДВУХДИОДНОЙ СТРУКТУРЫ И W-ФУНКЦИИ ЛАМБЕРТА

Зиновьев Виталий Валерьевич, Баргенов Олег Архипович
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Ижевск, Россия
vi777vz@gmail.com, boa2@udsu.ru

Предложена новая двухдиодная модель солнечного фотоэлектрического преобразователя (ФЭП), которая позволяет в единой аналитической форме представить

полную вольтамперную характеристику (ВАХ) с учетом прямой и обратной ветвей на основе W-функции Ламберта. Модель основана на использовании двух диодов Шокли с различными параметрами, включением и функциональным назначением, что позволяет достаточно детально описать форму ВАХ по единой расчетной методике, отражающую, в том числе, механизмы лавинного размножения носителей зарядов на ее обратной ветви. Хорошее совпадение было показано между экспериментальными и смоделированными ВАХ для кремниевых поликристаллических элементов промышленного изготовления. С практической точки зрения унифицированная аналитическая форма уравнений полной вольтамперной характеристики с W-функциями Ламберта позволяет оценить роль и прогнозировать возможность образования горячих точек (hot-spots) на поверхности ФЭП при неравномерном освещении.

Ключевые слова: солнечная энергетика, аналитическая двухдиодная модель Шокли солнечного преобразователя, полная вольт-амперная характеристика на основе W-функции Ламберта, лавинный электрический пробой, эксплуатационные параметры и характеристики ФЭП.

MODELLING OF THE FULL BRANCH OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF SOLAR PHOTOCONVERTERS BASED ON THE TWO-DIODE STRUCTURE AND THE LAMBERT W-FUNCTION

Zinoviev Vitaliy Valerievich, Bartenev Oleg Arkhipovich

Two-diode model of PV cell is proposed, which makes it possible to present in a unified analytical form the full current-voltage characteristic considering both forward and reverse branches based on the Lambert W-function. The model is based on the use of two Shockley diodes with different parameters, connections and functional purpose, which makes it possible to describe in sufficient detail the shape of the I – V characteristic using a unified calculation method, which takes into account, among other things, the mechanisms of avalanche multiplication of charge carriers on its reverse branch. Good fitting has been shown between the experimental and modeled I-V curves for industrial silicon polycrystalline PV cells. From a practical point of view, the unified analytical form of the equations of the full current-voltage characteristic with Lambert W-functions makes it possible to assess the role and predict the possibility of the formation of hot spots on the surface of the PV cells under uneven illumination.

Keywords: solar energy, an analytical two-diode Shockley model of a PV cell, a full current-voltage characteristic based on the Lambert W-function, avalanche electrical breakdown, operational parameters and characteristics of PV cell.

Эффективность работы солнечных фотоэлектрических электростанций во многом определяется их первичным источником (элементом) выработки электроэнергии – солнечными фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП). Диагностика и контроль эксплуатационных электрических параметров ФЭП является основой прогнозирования эффективности работы таких станций. Эти параметры могут быть смоделированы и оценены при изучении вольтамперных характеристик (ВАХ) указанных

ФЭП, которые в реальных погодных условиях подвержены неоднородному солнечному освещению, то есть некоторые из них могут быть затенены (находиться при сниженной освещенности). В солнечной энергетике важное значение имеет не только так называемая прямая ветвь ВАХ (при положительных напряжениях, режим генерации энергии), но и обратная ветвь отрицательных напряжений – область внутренних потерь энергии. В последнем случае на затененных элементах солнечных модулей и панелей могут образовываться горячие точки с повышенной температурой, в научной литературе называемые hot-spots [1–2]. При этом КПД солнечных батарей существенно снижается.

Теоретический анализ и моделирование вольтамперных характеристик основывается на решении трансцендентного уравнения ФЭП связывающего, согласно эквивалентной электрической схеме, выходные ток и напряжение, ток фотогенерации, параметры диода Шокли, его внутренние сопротивления. На практике часто используется однодиодная эквивалентная электрическая схема замещения ФЭП. Изучаются также двухдиодные модели ФЭП, где оба диода включены в прямом смещении, но с различными факторами идеальности диодов. Второй диод вводится с целью уточнения прямой ветви ВАХ солнечного элемента при учете рекомбинационного механизма генерации токов от носителей заряда. Но обе эти модели в области обратной ветви ВАХ солнечных ФЭП не отражают экспериментально наблюдаемый нелинейный и достаточно резкий рост тока при отрицательных напряжениях. Ввиду широкого использования за рубежом солнечной энергетике этой тематике посвящено достаточно много работ. В работе [2] с применением технологий инфракрасной и люминесцентной томографии изучено влияние различных локально распределенных дефектов структуры промышленных поликристаллических ФЭП на формирование обратной ветви ВАХ и величину эффективного порогового напряжения резкого возрастания тока в этой области. При этом следует отметить, что традиционное уравнение ФЭП с учетом составляющей лавинного размножения носителей заряда по модели Bishop [4] при отрицательных напряжениях на ФЭП с однородной структурой (бездефектной) не вполне описывает экспериментальные данные ФЭП металлургического производства, практически всегда имеющие распределенные дефекты структуры, влияющие на электронную структуру локальных p-n диодных переходов.

Цель данной работы – выработка нового единого подхода на основе использования W-функции Ламберта к описанию и анализу полной ветви (прямой и обратной) вольтамперной характеристики, соответствующего

более адекватному описанию и анализу экспериментальных данных измерений электрических цепей с солнечными преобразователями промышленного изготовления.

Обычно используемая запись однодиодного уравнения ФЭП с учетом составляющей лавинного размножения носителей заряда при отрицательных напряжениях на ФЭП имеет вид [4]:

$$I_n = I_\phi - I_{o.n} \cdot \left(\exp\left(\frac{U_n + I_n R_n}{A \cdot U_T}\right) - 1 \right) - \frac{U_n + I_n R_n}{R_{ш}} - \alpha \frac{U_n + I_n R_n}{R_{ш}} \left(1 - \frac{U_n + I_n R_n}{U_{пр}} \right)^{-m}, \quad (1)$$

где I_n – ток нагрузки, А; U_n – напряжение нагрузки, В; I_ϕ – фототок (ток за счет фотогальванического эффекта), А; $I_{o.n}$ – обратный ток насыщения, А; A – фактор идеальности p - n -перехода ($A = 1 \dots 5$); T – абсолютная температура, К; R_n – последовательное сопротивление, Ом; $R_{ш}$ – параллельное (шунтовое) сопротивление, Ом; m – численный показатель степени в составляющей формулы, описывающей лавинный пробой; $U_{пр}$ – напряжение лавинного пробоя, В; α – доля омического тока, участвующего в лавинном пробое; U_T – термическое напряжение.

В [5–7] использовался методический подход преобразования трансцендентного уравнения ФЭП (без члена лавинного пробоя) в аналитическое уравнение содержащее W -функцию Ламберта, что позволяло получать точные решения для вычисления ВАХ и проводить соответствующий анализ. Однако использованное степенное выражение для лавинного пробоя в формуле (1) не позволяет применить этот подход в области отрицательных напряжений, при которых собственно и возникает лавинный пробой. Для решения этой проблемы степенной член лавинного пробоя нами был заменен выражением в форме диода Шокли, также имеющий область резкого возрастания тока при определенном напряжении. Учитывая такую замену эквивалентная схема солнечного элемента примет вид представленный на рис. 1:

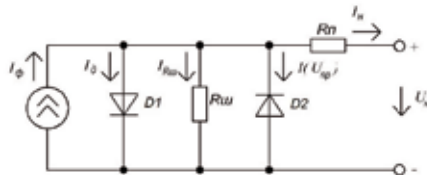


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения солнечного элемента с учетом эффекта лавинного размножения носителей заряда

Согласно [5] уравнение $I_n = f(U_n)$ для построения прямой ветви ВАХ солнечного элемента с использованием W-функции Ламберта для положительных напряжений выглядит следующим образом:

$$I_n = -\frac{A \cdot U_T}{R_n} W \left(I_{o,n} \frac{R_n}{A \cdot U_T \cdot r_1} \exp \left(\frac{U_n + R_n \cdot (I_\Phi + I_{o,n})}{A \cdot U_T \cdot r_1} \right) \right) + \frac{I_\Phi + I_{o,n} - \frac{U_n}{U_{ш}}}{r_1} \quad (2)$$

где $r_1 = 1 + \frac{R_n}{R_{ш}}$; $U_T = \frac{k \cdot T}{e}$ – термическое напряжение, остальные величины соответствуют формуле (1).

Для построения полной зависимости ВАХ $I_n = f(U_n)$ солнечного элемента с использованием W-функции Ламберта необходимо, в соответствии с предложенной эквивалентной схемой (рис. 1), добавить в уравнение (2) выражение, которое отвечает за обратную ветвь ВАХ. Применяя принцип сложения токов согласно эквивалентной схеме рис. 1 и, используя методику введения преобразования W-функции Ламберта, можно записать единое уравнение описывающее полную вольтамперную характеристику ФЭП $I_n = f(U_n)$ в виде:

$$I_n = -\frac{A \cdot U_T}{R_n} W \left(I_{o,n} \frac{R_n}{A \cdot U_T \cdot r_1} \exp \left(\frac{U_n + R_n \cdot (I_\Phi + I_{o,n})}{A \cdot U_T \cdot r_1} \right) \right) + \frac{I_\Phi + I_{o,n} - \frac{U_n}{U_{ш}}}{r_1} +$$

$$+ \frac{A_2 \cdot U_T}{R_n} W \left(I_{o,n,2} \frac{R_n}{A_2 \cdot U_T \cdot r_1} \exp \left(\frac{U_n + R_n \cdot (I_\Phi + I_{o,n,2})}{A_2 \cdot U_T \cdot r_1} \right) \right) - \frac{I_{o,n,2} - \frac{U_n}{U_{ш}}}{r_1} \quad (3)$$

Здесь вводятся новая W-функция преобразования и два новых модельных диодных параметра $I_{o,n,2}$ и A_2 характеризующие резкое возрастание тока при некотором отрицательном напряжении. Выбор этих значений фактически определяет критическое значение отрицательного напряжения резкого возрастания тока ФЭП (аналог напряжения лавинного пробоя).

Введенный новый обратно включенный диод $D2$, с измененными значениями тока насыщения $I_{o,n,2}$ и эффективным термическим напряжением $U^*_T = A_2 U_T$, в данном случае формально может описывать

резкое размножение носителей заряда при достижении некоторого критического локального ускоряющего поля в отрицательной области напряжений. Физически два диода в приведенной эквивалентной схеме описывают разные процессы; первый характеризует дрейфовый перенос через $p-n$ переход неосновных носителей заряда ускоряющим полем в процессе их фотогенерации, а второй отражает ударное размножение носителей заряда связанное с дефектами структуры, что соответствует напряжению резкого возрастания тока в форме экспоненты, то есть, например, напряжению электрического пробоя $U_{пр}$ в солнечных ФЭП с неидеальными $p-n$ переходами в области дефектов, что характерно для промышленных поликристаллических ФЭП. Необходимо отметить, что до настоящего времени нет обобщенной теории лавинного размножения носителей заряда в неидеальных $p-n$ переходах ввиду действия различных механизмов и фактически ранее представленный степенной член в формуле (1) это эмпирическое выражение часто используемое в научной литературе, в том числе и при изучении вольтамперных характеристик солнечных преобразователей, как правило с бездефектной структурой.

Введение второго диода в эквивалентной схеме ФЭП позволяет применить методику использования W -функции для анализа вольтамперной характеристики как прямой, так и обратной ее ветви, то есть для положительных и отрицательных напряжений.

Эксперименты и моделирование ВАХ были выполнены на солнечных кремниевых поликристаллических элементах 156×156 мм, марки TNP5-156 китайского производства, электрические и модельные параметры следующие: $I_{кз} = 8,21$ А; $U_{хх} = 0,636$ В; $A = 1,47$; $I_{о.н} = 3,956 \cdot 10^{-7}$ А; $R_{ш} = 550,0$ Ом; $R_{п} = 0,0064$ Ом; $A_2 = 39,5$; $I_{о.н.2} = 9,9 \cdot 10^{-9}$ А; $T = 298,0$ °С;

На рис. 2а, 2б показано сравнение экспериментальной и модельной темновых ВАХ поликристаллического солнечного элемента. Полученные экспериментальные и модельные полные вольтамперные зависимости (в первом и втором квадранте) имеют хорошее совпадение во всем диапазоне напряжений, что свидетельствует о работоспособности предложенной модели. Аппроксимация зависимости $I_n = f(U_n)$ вблизи пробоя солнечного элемента дает значение $U_{пр} = -18$ В. Дальнейшие исследования в области практического использования предложенного модельного представления ФЭП на основе W -функции в расширенном диапазоне напряжений позволят достаточно точно оценить влияние параметров обратной ветви ВАХ на эффективность работы солнечных преобразователей в цепях электрических станций при неоднородном освещении солнечных модулей.

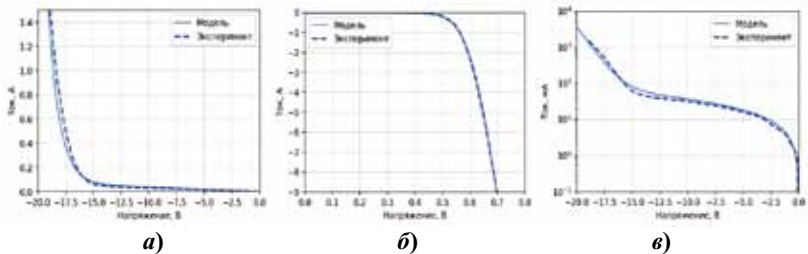


Рис. 2. Темновая вольт-амперная характеристика поликристаллического солнечного элемента: а) обратная ветвь; б) прямая ветвь; в) обратная ветвь в логарифмическом масштабе оси тока

На рис. 2 в показана обратная ветвь темновой ВАХ солнечного элемента в логарифмическом масштабе оси тока. На графике можно выделить три характерных участка: нелинейный рост тока вблизи малых значений напряжения (от 0 до -4 В), пологий участок с практически линейным ростом тока в диапазоне напряжений -4...-15 В и участок пробоя p - n -перехода солнечного элемента начиная от -15 В. Нелинейный характер оси тока позволяет увидеть больше деталей обратной ветви ВАХ и связать их с различными механизмами возрастания тока.

Выводы:

1. Приведена аналитическая форма полной вольт-амперной характеристики двухдиодного фотоэлектрического преобразователя с учётом прямой и обратной ветви на основе W -функции Ламберта.

2. Использование W -функции Ламберта для анализа вольтамперной характеристики как прямой, так и обратной её ветви стало возможным благодаря введению второго диода в эквивалентной схеме замещения фотоэлектрического преобразователя для описания ударного механизма резкого возрастания тока в области отрицательных напряжений.

3. Сравнение экспериментальных и модельных полных вольтамперных характеристик показало хорошее совпадение во всем диапазоне напряжений, что свидетельствует о работоспособности предложенной модели.

4. Полученную полную модель ВАХ можно использовать при анализе последовательного соединения солнечных элементов, находящихся при неравномерной освещенности, когда определенную роль в электрогенерации играет обратная ветвь ВАХ.

Литература

1. Dhimish M., Holmes V., Mehrdadi B. PV output power enhancement using two mitigation techniques for hot spots and partially shaded solar cells // *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 158, no. January, pp. 15–25, 2018.
2. Breitenstein O. Understanding the current-voltage characteristics of industrial crystalline silicon solar cells by considering inhomogeneous current distributions // *Opto-Electron. Rev.* 21. 259–282 (2013).
3. Fertig F. Impact of junction breakdown in multi-crystalline silicon solar cells on hot spot formation and module performance / Fertig, Fabian & Rein, Stefan & Schubert, Martin & Warta, Wilhelm. (2011) // Conference: 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. 5–9 September 2011, Hamburg, Germany.
4. Bishop J.W. Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits // *Solar Cells* 25. 1988. Pp. 73–89.
5. Зиновьев В.В., Бельтюков А.П., Бартнев О.А. Математическая модель фотоэлектрического преобразователя с использованием W-функции Ламберта // *Известия Института математики и информатики Удмуртского государственного университета*, 2016. № 2 (48). С. 22–30.
6. Зиновьев В.В., Бартнев О.А., Бельтюков А.П. Моделирование солнечных преобразователей при неравномерной освещенности // *Промышленная энергетика*, 2018. № 7. С. 58–67.
7. Зиновьев В.В., Бартнев О.А. Диагностика промышленных солнечных модулей в областях прямой и обратной ветвей вольтамперной характеристики при неоднородном освещении // *Промышленная энергетика*, 2020. № 1. С. 56–62.

УДК 628.9

ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Иванова Вилия Равильевна, Даутов Рамиль Рафикович
ФБГОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
г. Казань, Россия
ivr20@mail.ru, ramildautov@yandex.ru

Статья посвящена анализу систем управления освещением, выполнен обзор, представлены основные недостатки и преимущества используемых САУ, рассмотрен вариант, пригодный для эксплуатации в системе «Умный дом».

Ключевые слова: DALI, KNX, DMX, система освещения, устройство, интерфейс, контроллер.

LIGHTING CONTROL SYSTEMS OVERVIEW

Ivanova Viliya Ravilievna, Dautov Ramil Rafikovich

The article is devoted to the analysis of lighting control systems, an overview is made, the main disadvantages and advantages of the used ACS are presented, an option suitable for operation in the "Smart Home" system is considered.

Keywords: DALI, KNX, DMX, lighting system, device, interface, controller.

В работе представлен анализ существующих систем управления освещением. Главное преимущество систем управления освещением – энергоэффективность, позволяющая экономить деньги [1].

Рассмотрим несколько систем, такие как DALI, KNX, DMX и Art-Net. Разберем каждую систему управления освещением, их различия и сходство, плюсы и минусы систем.

DALI (Digitally Addressable Lighting Interface – цифровой адресуемый интерфейс освещения) – это интерфейс, микросхемы которого интегрируются в осветительные балласты, что позволяет стать цифровым. Разработан в 1999 году для управления освещением. DALI легко интегрируются в другие системы управления освещением и работают совместно с их протоколами. Система специализируется только на освещении и поэтому дешевле и гибкая в управлении. DALI имеет стандарт IEC 60929.

Интерфейс DALI позволяет как принимать, так и передавать информацию, линия имеет защиту от напряжения осветительной сети. Сеть DALI децентрализована, это позволяет подключать любые устройства, которые могут работать с шинами DALI. Сообщения передаваемые от DALI состоят из двух частей, адрес и команда. Адресатом могут быть как отдельные устройства, так и группы или все устройства, команды могут быть одноразовыми или передать сценарий, в которой содержится последовательность команд. Одна линия управления позволяет передавать сообщения до 64 устройств, если подключить с помощью роутеров и шлюзов количество увеличится до 12800.

Система DALI может делать простые действия включить/отключить, а также управлять мощностью. Одно устройство DALI может воспроизводить до 16 сценариев, получать и хранить информацию. Предусмотрено использование различных датчиков. Благодаря этому возможно программировать различные сцены освещения помещения [2-3].

Сбоя в системе DALI не происходит, при отключении электричества контроллер запоминает состояние и после возобновления включается последнее рабочее состояние.

KNX был разработан 1990 году, а в 2006 году стал стандартом ISO/IEC 14543. Как и система DALI, KNX децентрализована, информация передается в обоих направлениях, передавать сообщения можно как отдельно устройству, так и группе устройств. Система управляется разными способами – это выключатели, датчики, сенсоры или удаленно.

В отличие от DALI, KNX специализируется не только на освещении, система охватывает все, создавая умный дом. KNX позволяет управлять вентиляцией, кондиционированием, отоплением, освещением и так далее [4].

Освещением можно управлять с помощью устройств KNX, также можно подключать другие системы с протоколами управления DALI, DMX и так далее.

На линии можно подключать до 64 устройств, линии подключают к одной главной линии, образуется зона. Таким образом, можно объединить до 58000 устройств.

Каждое устройство имеет энергонезависимую память. При отключении напряжения, устройство сохраняет настройки и при возобновлении напряжения все приходит в нормальный режим работы.

DMX (Digital Multiplex Signal) контроллер или DMX 512 разработан в 1986 году в основном для управления освещением сцен, создавая нужную атмосферу, другими словами используется для декоративного освещения. Один контроллер позволяет управлять до 170 RGB светодиодами или до 512 одиночных светодиодных устройств. Протоколы DMX 512 имеют совместимость с другими более современными контроллерами, но сами контроллеры DMX не совместимы с другими протоколами связи. Для управления освещением в повседневной жизни контроллеры имеют много недостатков. Однако их широко применяют в музыке для управления светом, которая создает видимость звука [5].

Из-за больших недостатков DMX был создан протокол Art-Net на базе DMX 512. Art-Net имеет обратную связь в отличие от DMX, может передавать не только значения и позиции, но и отдельные файлы. Art-Net используют в основном для синхронизации медиа систем (звук, свет, видео и так далее). Устройства используют для коммутации между собой узлы, каждый узел может содержать до 1024 каналов DMX, максимальное количество узлов может достигать 32768 штук [6].

После обзора основных систем управления освещением можно сделать вывод:

1. Если нужна система только для управления освещением, DALI идеально подойдет для этого, так как совместим с другими протоколами.

2. Если нужна система для создания умного дома, которая управляет не только освещением, но и другими системами, KNX лучше. KNX имеет совместимость с другими протоколами.

3. DMX как отдельная система имеет много недостатков, но и с протоколами Art-Net подойдет только для медиа систем. С другими протоколами сложно совместимы [7-8].

Литература

1. electricalschool.info: сайт. Москва, 2008-2020. Доступно по: URL: <http://electricalschool.info>. Ссылка активна на 30.12.2020.

2. beg-russia.ru: блок: сайт / учредитель ООО «ОРДЫНКА-СЕНСОР» Москва, 2016. Доступно по: URL: <https://beg-russia.ru>. Ссылка активна на 30.12.2020.

3. habr.com: сайт. Москва, 2006-2021. Доступно по: URL: <https://habr.com> Ссылка активна на 01.01.2021.

4. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

5. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Киселев И.Н. Разработка автоматизированной системы управления с использованием языка программирования стандарта МЭК 61131-3 // Энергобезопасность и энергосбережение, 2020. № 6. С. 44–49. Доступно по: <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2020-6-44-49>.

6. Иванова В.Р., Иванов И.Ю. Контроль уровня освещенности рабочей поверхности с помощью интеллектуального блока управления светильника // Сборник докладов V Международной молодежной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – ТПУ-2014». Т.2. С. 11–14.

7. Тукшаитов Р.Х., Сайфутдинова В.Р., Алхамсс Я.Ш. Люксамперные и временные характеристики светодиодных светильников, питаемых от гальванических элементов // Сборник статей в журнале «Проблемы энергетики», № 11–12. Казань: 2010.

8. Denisova A.R., Rudakov A.I., Rozhentcova N.V. Energy efficiency of electric vacuum systems: induction motor – water ring pump with an ejector // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2020. Т. 641 LNEE. Pp. 606–612.

9. Смоленцев Н.И., Четошникова Л.М., Игнатов А.Н. Управление электромеханическим накопителем энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 6. С. 3–10.

УДК 620.9

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ И КРИТЕРИИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИИ ДЛЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Исхаков Рамиль Рустемович, Гусамов Данияр Ильнарлович
ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»,
г. Казань,
Iskhakovramil96@gmail.com, gdi23@bk.ru

Приведены виды автономных электростанций для загородного дома и критерии их выбора по полной мощности потребления всех электропотребителей для резервного использования.

Ключевые слова: автономные электростанции, дизельные генераторы, бензиновые генераторы, газовые генераторы, солнечные батареи, ветровой генератор, локальная система гидроэнергии, аккумуляторные батареи.

THE NECESSARY CONDITIONS AND CRITERIA FOR CHOOSING A POWER PLANT FOR A PRIVATE HOME

Iskhakov Ramil Rustemovich, Gusamov Daniyar Ilnarovich

The types of autonomous power plants for a country house and the criteria for their selection by the total power consumption of all electric consumers for backup use are given.

Keywords: autonomous power plants, diesel generators, gasoline generators, gas generators, solar panels, wind generator, local hydropower system, storage batteries.

Проживание в загородном доме имеет несколько недостатков, одним из которых является нестабильное электропитание. Для того чтобы из-за отключения электричества не прекращалась запланированная работа, используют автономные электростанции, которые способны обеспечивать энергией в нужном количестве, как в качестве резерва, так и на постоянной основе.

Главным вопросом является выбор качественной, эффективной и экономичной автономной подстанции. Автономной электростанцией называется совокупность установок, предназначенных для производства

электроэнергии и для питания сооружений и зданий. Электроприёмники (потребители) получают питание по гальванически разделенной от остальной сети общего назначения радиально-магистральной линии передачи.

В настоящее время существует три вида автономных электростанций. Первым видом подстанций является генератор, а именно, электрическое устройство, предназначенное для выработки энергии или преобразования одного вида энергии в другой, который в свою очередь подразделяется на топливный и бестопливный. Существует большое разнообразие генераторов, которые классифицируются:

1. По количеству фаз (однофазный 220В, трехфазный 380В);
2. По типу топлива (бензиновый, дизельный, газовый);
3. По типу охлаждения (воздушное, жидкостное);
4. По типу запуска (ручной, электростартер, автоматический);
5. По длительности работы (для постоянной работы, для резерва, для аварийного резерва) [1].

Вторым видом являются альтернативные источники работы автономных электростанций. К ним относится солнечная батарея, которая работает на принципе объединения фотоэлементов (фотоэлектрических преобразователей), преобразующие солнечную энергию в электроэнергию.

В свою очередь, солнечные батареи просты в установке и обслуживании, экономичные, экологически чистые, надежны длительным эксплуатационным периодом, но ко всем достоинствам эффективность этой электроустановки зависит от погодных условий, и данная установка имеет низкое КПД. Еще одним недостатком является необходимость большой площади для установки, так как требуется большое количество вспомогательной техники.

По типу рабочего фотоэлектрического слоя солнечные панели разделяют на такие разновидности:

1. Кремниевые (монокристаллические, поликристаллические и аморфные);
2. Теллурий-кадмиевые;
3. На основе селенида индия- меди- галлия;
4. Полимерные;
5. Органические;
6. На основе арсенида галлия;
7. Комбинированные и многослойные.

Так же видом альтернативной автономной электростанции может служить ветровой генератор, в котором источником энергии является

энергия ветра. Принцип работы такого генератора прост, под воздействием энергии ветра происходит вращение лопастей установки, после чего передается на генератор и вырабатывается электроэнергия. Достоинства и недостатки этой электроустановки аналогичны солнечным панелям, за исключением того, что их работа зависит не от солнечных лучей, а от движения воздушных масс в месте расположения этой установки [2].

Еще один способ получения электроэнергии – локальная система гидроэнергии. Эта небольшая система работает на энергии воды, она безопасна экологически, и проста как в установке так и в эксплуатации. В отличие от солнечных батарей имеет хороший КПД. Минус этой электроустановки в том, что размещать и устанавливать такие установки нужно вблизи рек либо озер.

И третий вид автономных электростанций – аккумуляторные батареи, принцип работы которых основывается на зарядке от центральной сети, пока имеется электричество, и накоплении в блоках своего ресурса. Когда отключают электричество и на аккумуляторы не подается питание модули отдают через специальную инверторную установку электроэнергию домашним системам и бытовым приборам. Данный вид электростанции не подходит для постоянного обеспечения дома электроэнергией, однако возможна эксплуатация в качестве резервного источника питания.

Для более подробного анализа использования автономных электростанций для загородных домов в работе рассмотрен земельный участок, на котором помимо самого дома присутствуют дополнительные сооружения, а именно: баня, гараж, дровник и беседка. Для примерного подсчета потребляемой мощности были просуммированы потребляемые мощности потребителей первой необходимости (электричество, котельная, холодильник, канализация, скважный насос и др.) (расчет выполнен с учетом запаса 20 %). Полная мощность всех потребителей исследуемого объекта составила 28 кВт. Согласно расчетам следующим этапом стал выбор автономной электростанции [3].

Если рассматривать первый вид автономных электростанций – генераторы (дизельные, газовые или бензиновые), то наиболее надежными для постоянной эксплуатации являются дизельные генераторы, потому что главной особенностью работы этой электроустановки является стабильная работа при продолжительном использовании. В следствии значительного моторесурса дизельного генератора эксплуатационный период значительно превышает эксплуатационный период бензинового генератора. Дизельные генераторы в сравнении с бензиновыми генераторами (рабочий цикл

которых составляет 4–8 часов, после чего нужен перерыв для охлаждения) могут работать 8–12 часов. Максимальная продолжительность безостановочной работы зависит от модели дизельного генератора. В отличие от бензиновых генераторов, дизельные более экономичны благодаря меньшему расходу топлива. Так же есть возможность установки АВР (Аварийный Ввод Резерва) и подогрева, благодаря которым нет необходимости участия человека при включении. Так же бензиновые генераторы рассчитаны на мощность не превышающую 15 кВт. Несмотря на более высокую стоимость в сравнении с бензиновыми генераторами, дизельные генераторы являются наиболее практичным для загородного дома [6, 7].

Также для данного участка подходит газовый генератор с жидкостным охлаждением. Если рассматривать газовый генератор, то необходимо согласие с местной газовой службой, и предоставление документов, полученных при приобретении станции (сертификат и технический паспорт генератора). Если рассматривать данный вариант, то с экономической точки зрения, для выбранного участка газовый генератор не подходит.

В случае солнечных панелей, ветряных генераторов и аккумуляторных батарей, для подсчитанной мощности установка данных альтернативных автономных станций не практична, так как потребуется большое количество оборудования, что в свою очередь не экономично, и будет занимать большую площадь установки. Так же рядом с выбранной местностью нет водоёма, поэтому система гидроэнергии не подходит [4].

Из всех вышеперечисленных видов автономных электростанций для выбранного загородного дома, с точки зрения практичности и экономичности, подходят дизельные генераторы.

Для примера одного из таких дизельных генераторов была рассмотрена модель генератора Opis VISA D 41 GX (Страна происхождения Италия). Максимальная мощность 35,2 кВт. Напряжение 230/400 В. Номинальная мощность двигателя 39,2 кВт. Страна происхождения двигателя Германия. Частота вращения вала двигателя 1500 об/мин. Тип запуска электростартер. Наличие АВР. Исполнение в кожухе [5].

В заключении, при приобретении автономной электростанции нужно учитывать необходимую длительность работы, а так же место будущего расположения, в случае альтернативных источников электроэнергии.

Литература

1. Автономные солнечные электростанции // Автономное электроснабжение для частного дома. Доступно по: URL: <http://sovets>

ingenera.com/eco-energy/eko-dom/avtonomnoe-elektrosnabzhenie-dlya-chastnogo-doma.html#i-7. Ссылка активна на 20.10.2020.

2. Энергия ветра для Автономного электроснабжения // Автономное электроснабжение для частного дома. Доступно по: URL: <http://sovet-ingenera.com/eco-energy/eko-dom/avtonomnoe-elektrosnabzhenie-dlya-chastnogo-doma.html#i-8>. Ссылка активна на 20.10.2020.

3. Локальные системы гидроэнергии // Автономное электроснабжение для частного дома. Доступно по: URL: <http://sovet-ingenera.com/eco-energy/eko-dom/avtonomnoe-elektrosnabzhenie-dlya-chastnogo-doma.html#i-9>. Ссылка активна на 20.10.2020.

4. Разновидности генераторов//Как выбрать генератор для дачи и частного дома. Доступно по: URL: <https://vyboroved.ru/vybor/1226-kak-vybrat-generator.html>. Ссылка активна на 20.10.2020.

5. Дизельный генератор Onis VISA D 41 GX с ABP //KWT.Market–интернет-магазин промышленного оборудования в Санкт-Петербурге. Доступно по: URL: https://spb.kwt.market/generators/dizelnie/dizelnyy_generator_onis_visa_d_41_gx_s_avr/. Ссылка активна на 20.10.2020.

6. Маркин О.Ю., Сентябрев А.В., Маркин Ю.С. и др. Тензометрическая опора // патент на полезную модель RUS 72543 07.12.2007.

7. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики/№11-12/2018, стр. 99–106.

8. Смоленцев Н.И., Четошникова Л.М., Игнатов А.Н. Управление электромеханическим накопителем энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 6. С. 3–10.

УДК.628.335

ОБЗОР ФЛОТАЦИОННОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЛИВНЕВЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Купоросов Александр Владимирович, Маврин Даниил Геннадьевич,
Роженцова Наталья Владимировна,
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
skuporosov@mail.ru, xxx2013.x@yandex.ru, natalia15969@yandex.ru

Флотационный способ очистки применяют для удаления из сточных вод нерастворимых коллоидно-дисперсионных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются, а также для удаления растворенных веществ. Ее используют также для

выделения активного ила после биохимической очистки. Флотация может быть использована вместе с флокуляцией.

Ключевые слова: Флотация, коагулянт, флокулянт, резервуар, нефтесодержащие сточные воды, техническое оснащение.

OVERVIEW OF THE FLOTATION METHOD OF WASTEWATER TREATMENT FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Kuporosov Alexander Vladimirovich, Mavrin Danil Gennadevich,
Rozhentsova Natalia Vladimirovna

The flotation treatment method is used to remove insoluble colloidal-dispersion impurities from wastewater, which spontaneously settle poorly, as well as to remove dissolved substances. It is also used for the isolation of activated sludge after biochemical purification. flotation can be used together with flocculation.

Keywords: Flotation, coagulant, flocculant, reservoir, oily waste water, technical equipment.

Высокая природная жёсткость воды, содержание большого количества примесей создаёт существенные проблемы для производительности и долговечности эксплуатации энергетических установок и оборудования. Катионы магния и кальция, которые в избытке содержатся в воде, становятся причиной трудноудаляемой накипи на внутренних стенках водоподготовительного оборудования и котлоагрегатов. Поэтому использование воды повышенной чистоты – основная забота эксплуатационных систем парообразования [1].

Нефтесодержащие сточные воды на первичных этапах очистки поступают в приемные резервуары. Резервуары могут работать как сообщающиеся сосуды и как отдельные емкости. Каждый резервуар должен быть снабжен датчиками уровня, которые позволят проводить онлайн мониторинг фактических уровней. Для взмучивания выпавшего осадка в каждой емкости необходимо предусмотреть перфорированный трубопровод. Подача сточных вод осуществляется насосами один из которых должен быть резервным. Контроль подачи производится датчиком давления, электромагнитным расходомером и датчиком температуры. При помощи такого технического оснащения можно обеспечить защиту оборудования от перекачивания сточных вод выше +40 °С.

Перед смешиванием сточных вод с реагентами, вода проходит этап предварительной механической очистки через аппараты грубой фильтрации, которые обеспечивают высокоэффективную защиту от примесей и взвесей в обширном диапазоне. Задерживает частицы размером от 100 мкм до 60 мкм.

Инородные включения задерживают сетки ячеистой структуры, перфорированные элементы и проволочные детали с клиновидными отверстиями. Мутная жидкость проходит через них, выходя чистой, без следов примесей и частиц загрязнения. Промывка этого оборудования осуществляется как вручную, так и автоматически [2].

Таблица 1

Физико-химические показатели подготовки сточных вод под рабочим давлением

| Показатель | Рабочее давление, МПа (атм) | | | | |
|---|-----------------------------|----------|---------------------------------|--------|------------|
| | 0,9 (9) | 1,4 (14) | 1,8 (18) | 4 (40) | 5 (50) |
| | До 1200 включительно | | Свыше 1200 до 1200 включительно | | Свыше 1200 |
| Прозрачность по шрифту, см, не менее | 40/30 | | 40 | | – |
| Содержание соединений железа, мкг/кг | Не нормируется | | 150 | 100 | 50 |
| Содержание растворенного кислорода для котлов с чугунным экономайзером, мкг/кг | 150 | 100 | 50 | 30 | |
| Содержание растворенного кислорода для котлов со стальным экономайзером, мкг/кг | 50 | – | 30 | 20 | |
| Значение pH при 25°C | Не менее 8,5 | | | | |
| Содержание нефтепродуктов, мг/кг | 5 | 3 | 2 | 1 | 0,3 |

Для повышения эффективности очистки нефтесодержащих и дождевых сточных вод необходимо дозировать реагенты – коагулянт и флокулянт. Коагулянты способствуют объединению мелкодисперсных частичек в результате их столкновения и действия сил межмолекулярного притяжения. Флокулянты формируют в воде агрегаты и хлопья из тонкодисперсных и коллоидно устойчивых частиц, которые имеют высокую гидравлическую крупность для последующего отделения.

Смешивание сточных вод с реагентами осуществляется в трубном флокуляторе. Данный аппарат представляет собой трубный блок из ПВХ с двумя смесителями. В первый смеситель вводится коагулянт, во второй –

флокулянт. Ввод реагентов происходит последовательно с необходимыми временными промежутками для контакта веществ. Обработанная вода под остаточным напором поступает в напорный флотатор.

Коагулянт и флокулянт приготавливается в емкости с помощью миксера и дозируется с помощью насоса дозатора. Контроль наличия реагента в емкостях необходимо обеспечивать датчиком уровня.

При пропорциональном дозировании параметры его должны соблюдаться таким образом, чтобы при подаче максимального объема воды в неё подавалось соответствующее количество реагентных веществ. Необходимо обеспечить стабильное поступление воды в каждый момент времени для обеспечения надлежащей обработки [6].

В случае регулируемого дозирования применяется система регулирования, которая регистрирует фактическое качество воды и в зависимости от этого регулирует производительность дозирования. Таким образом, дозирование идёт в точном соответствии с тем качеством воды и соблюдением технологических параметров, которое она имеет в каждый конкретный момент времени. В таблице представлены технологические параметры дозирования реагентов для обработки нефтесодержащих сточных вод [3].

Таблица 2

Технологические параметры дозирования реагентов для обработки нефтесодержащих сточных вод

| Наименование | Количество | Ед. измерения |
|---|------------|----------------------------|
| Производительность по исходному стоку | 5 18 | л/ч м ³ /час |
| Доза вводимого коагулянта | 30 | мл/г |
| Доза вводимого флокулянта | 0,3 | мл/г |
| Концентрация рабочего раствора коагулянта | 8 | % |
| Концентрация рабочего раствора флокулянта | 0,1 | % |
| Производительность насоса-дозатора коагулянта | 6,75 | л/ч |
| Производительность насоса-дозатора флокулянта | 5,4 | л/ч |

Во флотаторе стоки поступают во флотационную камеру совместно с рециркуляционной водой, насыщенной воздухом. При сбросе давления растворенный воздух выделяется из воды в виде микропузырьков.

Микропузырьки прилипают к частицам скоагулированных загрязнений и поднимают их в верхнюю часть камеры флотации (зону флотации), образуя пенный слой. Очищаемая вода из зоны флотации поступает в зону сепарации. В данной секции происходит окончательное выделение растворенного воздуха и всплытие микропузырьков. Очищенная вода поступает в переливной карман. Часть очищенной воды циркуляционным насосом подается в сатуратор, где происходит насыщение воды воздухом. Подача воздуха в воду производится с помощью компрессора. Из сатуратора насыщенная воздухом вода подается на вход камеры флотации. Флотопена удаляется с поверхности воды скребковым механизмом с электроприводом в приемный лоток, из которого отводится самотеком. В результате флотационной очистки сточные воды очищаются до 95 % от взвешанных веществ и до 99 % от нефтепродуктов. Очищенные стоки поступают в промежуточную емкость, далее она проходит стадию утилизации [5].

В данном случае промежуточный резервуар не может работать как сообщающийся сосуд с прежними баками в начале установки. Он функционирует как отдельная емкость. Резервуар снабжен датчиками уровня, которые обеспечивают мониторинг уровня воды в емкости. Оснащенные локальной защитой от возникновения протечек и кавитационных повреждений насосного оборудования. Подача подготовленной очищенной воды осуществляется насосами по датчикам уровня. В теплообменник предварительного подогрева воды до 80–90 °С для значительного увеличения глубины умягчения и снижения остаточной жесткости воды до 0,2–0,4 мэкв/л.

Непрерывная эксплуатация насосного и компрессорного оборудования увеличивает риск выхода из строя их узлов трения вследствие сильного износа подшипников при «прямом» пуске. Кроме того, имеется необходимость корректировки режимов работы оборудования при уменьшении количества сточных вод, что позволит снизить затраты при функционировании очистных сооружений [4].

Таким образом Достоинствами флотации являются непрерывность процесса, широкий диапазон применения, невысокие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, большая скорость процесса по сравнению с отстаиванием, возможность получения шлама более низкой влажности, высокая степень очистки (95...98 %), возможность рекуперации удаляемых веществ. Флотация сопровождается также аэрацией сточных вод, снижением концентрации ПАВ и легкоокисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов.

Литература

1. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. М.: Энергия, 1976. 288 с.
2. Громогласов А.А. Водоподготовка. Процессы и аппараты. М.: Атомиздат, 1977. 325 с.
3. Кострикин Ю.А., Мещерский Н.А., Коровин О.В. Водоподготовки и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. М.: Энергоатомиздат, 1990. 252 с.
4. Фетисов Л.В., Низамутдинов Р.Р., Шайхиев И.Г. Энергосбережение в электроприводе азрационных установок очистных сооружений биологической очистки сточных вод // Вестник технологического университета, 2016. Т. 19. № 5. С. 158–160.
5. Фетисов Л.В., Иванова В.Р., Булатов О.А. Анализ замеров показателей качества электроэнергии и расчёт экономической эффективности после установки вольтодобавочного трансформатора (тезисы докладов научной конференции на английском языке) // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (Far East Con): Vladivostok, 2018. P. 1–4.
6. Сандаков В.Д., Подрезов А.Н., Валеев И.М. Повышение производительности установок очистки при воздействии на газовую среду ультрафиолетовым излучением // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2015. № 3–4. С. 96–100.
7. Цырук С.А., Данилов Н.В., Лисицын И.Д. Устройства быстрого действия автоматического ввода резерва: история, современное состояние, перспективы // Промышленная энергетика, 2019. № 6. С. 2–6.
8. Насырова Е.В., Тимербаев Н.Ф., Леухина О.В. и др. Анализ данных ветромониторинга в республике татарстан // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 6. С. 39–50.

УДК 620.92

РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Малькова Яна Юрьевна, Уфа Руслан Александрович, Рубан Николай Юрьевич
ФГБОУ ВО «Томский политехнический университет», г. Томск, Россия
yamalkova96@gmail.com, hecn@tpu.ru, rubanny@tpu.ru

Ежегодно единичная мощность и суммарная установленная мощность возобновляемой генерации планомерно возрастает. Внедрение объектов на основе

возобновляемых источников энергии неизменно оказывает влияние на режимные параметры энергосистемы. Поэтому необходимым является проведение проектных мероприятий, одной из задач которых является определение оптимальной конфигурации внедряемых объектов, в частности, места установки и мощности. В рамках данной работы представлены результаты решения обозначенной оптимизационной задачи с помощью «правила 2/3» и реализованного в виде программного кода алгоритма расчета перетоков и потерь мощности с применением метода пузырьковой сортировки. Исследование и сравнение полученных результатов проведено в программном комплексе MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: возобновляемая генерация, оптимизационная задача, целевая функция, потери мощности, методы оптимизации, правило 2/3.

THE SOLUTION OF THE OPTIMIZATION TASK OF RENEWABLE GENERATION

Malkova Yana Yurevna, Ufa Ruslan Alexandrovich, Ruban Nikolay Yurevich

The unit capacity and the total installed capacity of renewable generation are steadily increasing annually. The large-scale penetration these generation units affects to parameters and mode of electric power system. Therefore, it is necessary to carry out a number of design activities, such as determination of an optimal place and size of generation units. In this paper the results of solving the optimization problem by using the “2/3 rule” and the back/forward sweep algorithm for power flow calculation with the bubble sorting method are presented. The study and comparison of the results obtained were carried out with the MATLAB/Simulink software.

Keywords: renewable generation, optimization task, objective function, power losses, methods of optimization, 2/3 rule.

В настоящее время увеличивается число исследовательских работ, направленных на анализ влияния функционирования объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на параметры и процессы в электроэнергетической системе (ЭЭС), технико-экономическое обоснование их применения и др. Согласно данным Международного агентства по возобновляемой энергетике (International Renewable Energy Agency – IRENA) [4], в 2020 г. суммарная установленная мощность генерации на основе ВИЭ (без учета гидроэнергетики) в мире составила около 1437 ГВт: установлено более 651 ГВт и 627 ГВт ветряных и солнечных электростанций соответственно. Кроме того, следует отметить стремительный характер развития ВИЭ, приходящийся на последнее десятилетие, с 2010 г. по 2020 г. суммарная установленная мощность возобновляемой генерации в мире увеличилась более чем в два раза [4].

Несмотря на положительное влияние ВИЭ, их широкомасштабное внедрение определяет необходимость в решении ряда задач, связанных с обеспечением надежного и эффективного функционирования объектов ВИЭ в ЭЭС (задача планирования режимов работы ЭЭС с объектами ВИЭ,

которые, в свою очередь, характеризуются непостоянством выработки электроэнергии; задача по формированию новых подходов к управлению объектами ВИЭ для их участия в регулировании частоты и уровня напряжения и ряд других задач). Здесь стоит особо выделить задачу выбора оптимального места и мощности объектов ВИЭ, которая с точки зрения проектирования и планирования является первостепенной. Критерием оптимальности может быть степень снижения уровня потерь, тарифа на электроэнергию, капитальные затраты или операционные расходы и др.

Оптимизационная задача, вне зависимости от особенностей предметной области, в рамках которой она решается, предполагает осуществление поиска наиболее оптимального (благоприятного) решения задачи среди всего поля возможных решений (с учетом накладываемых ограничений). Структура оптимизационной задачи определяется тремя взаимосвязанными этапами, представленными на рис. 1 [1].

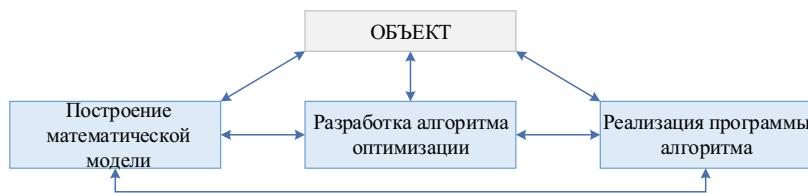


Рис. 1. Структура оптимизационной задачи

В соответствии с рис. 1, первый этап решения оптимизационной задачи предполагает построение математической модели исследуемого объекта. При формировании математической модели учитываются только те характеристики реального объекта, которые представляют практический интерес в рамках решаемой задачи (рядом характеристик пренебрегают, что позволяет значительно упростить расчет без потери смысловой нагрузки). Далее разрабатывается алгоритм решения задачи, включающий в себя определенную последовательность логических и вычислительных операций. На третьем этапе осуществляется программная реализация созданного ранее алгоритма, которая, в свою очередь, предполагает интерпретацию математических выкладок алгоритма в виде строчек программного кода, а также программную реализацию непосредственно оптимизационного алгоритма, позволяющего сократить поле возможных значений неизвестной переменной и время работы программы.

Конечным решением оптимизационной задачи выступает экстремальное (минимальное/максимальное) значение целевой функции и соответствующих ей параметров, определяющих поведение данной функции в ограниченной области поля возможных решений.

В рамках поставленной задачи определения оптимальной конфигурации внедряемой возобновляемой генерации объектом моделирования является ЭЭС в целом. При формировании математической модели ЭЭС учитываются: активная и реактивная мощность нагрузки, расположенной в узлах ЭЭС, активные и реактивные сопротивления линий связи. В качестве целевой функции выступают потери активной мощности, решение оптимизационной задачи соответствует минимальному значению потерь. Кроме того, выводится размер и место установки объекта ВИЭ, соответствующие данному наиболее благоприятному сценарию.

Оптимизационные алгоритмы, в связи с особенностями характера зависимостей между параметрами, определяющими целевую функцию, классифицируют на аналитические, численные и эвристические методы.

К аналитической подгруппе относятся метод множителей Лагранжа, «правило 2/3» и др. [5] В соответствии с «правилом 2/3» (в контексте решаемой оптимизационной задачи) [2], оптимальная мощность внедряемого объекта ВИЭ составляет 2/3 мощности нагрузки распределенной сети, оптимальное место установки – на удалении 2/3 от точки подключения к внешней системе.

Применим данное правило к типовой 15-узловой IEEE схеме, параметры которой приведены в [3].

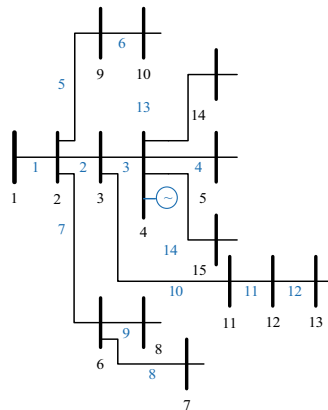


Рис. 2. Типовая 15-узловая IEEE схема

Соответственно, на удалении $2/3$ от внешней системы (узла 1) располагается узел 4. В программном комплексе MATLAB/Simulink соберем исследуемую схему (рис. 2) и проведем две серии опытов. В первой серии в узел 4 установим дополнительную генерацию размером $2/3$ от мощности нагрузки узла установки (93 кВт), во второй серии – размером $2/3$ от суммарной мощности нагрузки, расположенной за узлом 4 (263 кВт).

Установке дополнительной генерации мощностью 93 кВт соответствуют потери активной мощности – 56,912 кВт (сокращение на 7,8 % в сравнении с исходной схемой), установке дополнительной генерации мощностью 263 кВт – 49,692 кВт (сокращение на 19,5 %). Таким образом, результаты второй серии опытов принимаем за оптимум, полученный посредством применения аналитического метода «правило $2/3$ ».

Проведем верификацию полученного результата в разработанной программной реализации расчета перетоков и потерь мощности исследуемой схемы с применением метода пузырьковой сортировки. Данная программная реализация рассчитывает все возможные варианты (месторасположение и мощность) поля решений задачи. Для выполнения соответствия граничных условий обоих методов установим ограничение максимальной мощности внедряемого объекта в виде двухкратного превышения мощности нагрузки узла установки.

Получено, что оптимальным местом установки является узел 15, мощность внедряемого объекта соответствует удвоенной мощности нагрузки узла установки (280 кВт), потери активной мощности при этом составили 49,091 кВт (уменьшились на 20,4 % в сравнении с исходной схемой).

Проводя сравнение полученных результатов, можно заключить, что применение аналитического метода «правило $2/3$ » при решении оптимизационной задачи определения оптимальной конфигурации внедряемого объекта ВИЭ отличается достаточно простой практической реализацией, однако решение, полученное посредством применения данного метода оптимизации, является локальным, а не глобальным оптимумом.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4

Литература

1. Кочегурова Е.А. Теория и методы оптимизации. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 157 с.

2. Abookazemi K.A., M.Y. Hassan, and M.S. Majid Reviewon Optimal Placement Method sof Distribution Generation Sources // 2010 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon2010). Kuala Lumpur, Malaysia, 2010. Pp. 712–716.

3. Baran M.and F.F. Wu Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system // IEEE Transactions on Power Delivery, 1989. Vol. 4. No. 1. Pp. 735–743.

4. Renewable Energy Statistics 2020. July 2020, IRENA. Available at: URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Jul/Renewable-energy-statistics-2020>. Accessed: 16.01.2021.

5. Wang C., Nehrir M.H. Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems // IEEE Transactions on Power Systems, 2004. Vol. 19. № 4.Pp. 2068–2076.

УДК 697.946

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРА КИСЛОРОДА В ОЗОНАТОР

Маркелова Ольга Владиславовна, Сандаков Виталий Дмитриевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
olyash23@mail.ru, vitalysandakov@gmail.com

В статье рассмотрены виды озонирующих устройств, их достоинства и недостатки, устройство концентратора кислорода, а также совместная работа безбарьерного озонатора с концентратором кислорода

Ключевые слова: озон, озонатор, кислород, концентратор кислорода, генератор кислорода, вентиляция, диэлектрический барьер, электрод.

INTENSIFICATION OF INDOOR AIR PURIFICATION BY INTRODUCING AN OXYGEN CONCENTRATOR INTO THE OZONATOR

Markelova Olga Vladislavovna, Sandakov Vitaliy Dmitrievich

The article discusses the types of ozonating devices, their advantages and disadvantages, the device of an oxygen concentrator, as well as the joint operation of a barrier-free ozonator with an oxygen concentrator

Keywords: ozone, ozonator, oxygen, oxygen concentrator, oxygen generator, ventilation, dielectric barrier, electrode.

Большая часть отраслей промышленности сталкиваются с необходимостью очищать воздух, так как в процессе производства образуются различные вредные выделения: пыль, избыточное тепло, углекислый газ, пары вредных примесей, которые вредят здоровью работников.

Очистка воздуха на промышленных предприятиях возможна с применением генераторов озона.

Озон, трехатомная молекула, является аллотропной формой кислорода. Особенное преимущество озона заключается в том, что он является, несомненно, самым экологически чистым чрезвычайно мощным окислителем, который используется для промышленного применения и уничтожает грибки и плесень, выводит лишние ароматические соединения, инактивирует и устраняет микроорганизмы с инертных поверхностей. Образование и использование O_3 не влечет за собой вторичное загрязнение окружающей среды, и он не дает ненужных побочных продуктов [1].

Озонирование помогает в дезинфекции цехов и складских помещений с постоянно загрязнённым воздухом. Озон способен проникать в стены и уничтожать плесень и грибок, что, непременно, является преимуществом использования этих устройств. Более того, озонаторы используют для создания благоприятных для людей условий на предприятиях промышленного сектора. Экспериментально доказано, что при содержании озона в объеме $0,01-0,015 \text{ мг/м}^3$ в кондиционированном воздухе, дыхательные функции человека улучшаются.

В настоящее время наиболее экономичным способом получения озона в промышленных масштабах является его синтез в электрических разрядах из кислорода или смесей газа, содержащих кислород. Электросинтез озона считается довольно энергоёмким процессом.

Работа озонатора состоит в следующем: в устройство поступает воздушная смесь, на которую воздействует электрический разряд. Этот электрический разряд позволяет кислороду перестраиваться и образовать O_3 , затем озон вступает в реакцию, присоединяясь к молекулам загрязнителя и устраняя или преобразуя их в экологически-безопасные вещества.

Наиболее распространенными являются барьерный (рис.1) и безбарьерный (рис.2) озонаторы. С точки зрения надёжности и долговечности безбарьерное устройство выигрывает по сравнению с барьерным, ввиду отсутствия диэлектрических барьеров, который

довольно часто повреждается и требует замены [2]. Однако озонатор, работающий на коронном разряде вырабатывает в разы меньшее количество озона, чем барьерное устройство.

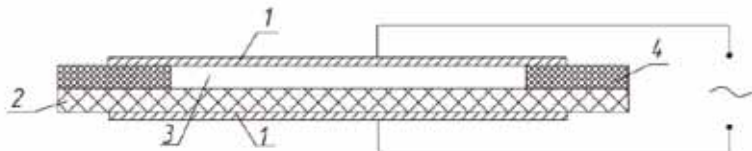


Рис. 1. Электромонтажная схема многобарьерного озонатора:
1 - металлические электроды; 2 - диэлектрические барьеры;
3 – разрядные зазоры; 4 – вкладыши

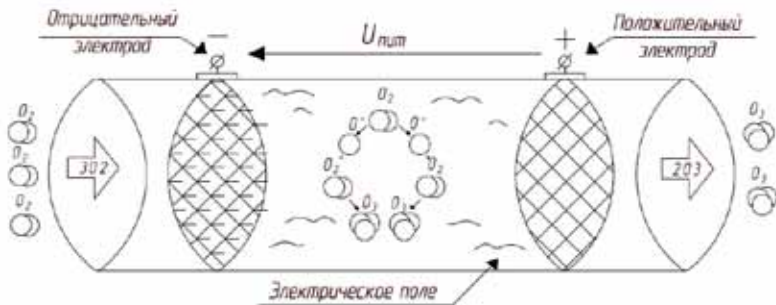


Рис. 2. Схема безбарьерного озонатора

Экспериментально доказано, что, пропуская через озонатор чистый кислород вместо атмосферного воздуха, количество произведенного озона почти удваивается.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что устройство, работающее на коронном разряде, вырабатывает меньше озона, чем барьерное устройство. А также то, что повышенная влажность исходной газовой смеси негативно влияет на электроды и на производство озона в целом. Кроме того, выяснили и то, что, если в качестве исходной смеси пропускать чистый кислород, а не атмосферный воздух выработка озона увеличивается вдвое [3].

Эти проблемы можно решить, поставив на входе воздушной смеси в устройство озонирования концентратор кислорода (рис. 3).

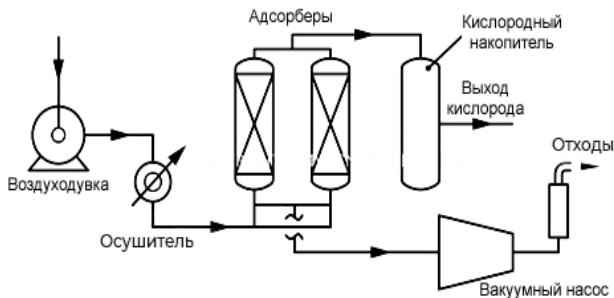


Рис. 3. Устройство концентратора кислорода

В конструкции аппарата концентрирования кислорода предусмотрен осушитель. Основой же прибора служит генератор кислорода, состоящий из двух цилиндров, заполненных цеолитом. Сосуды работают по очереди: пока один очищается от молекул азота, второй производит кислород.

Отделившись от кислорода, остальные газы не проходят в озонатор, а выбрасываются в атмосферу. Помимо генератора в составе концентратора кислорода имеются: компрессор, который нагнетает воздух в цилиндры, осушитель и воздушные фильтры [4]. Устройство работает от сети или аккумуляторной батареи.

Совместная работа концентратора кислорода и безбарьерного озонатора изображена на рисунке 4.

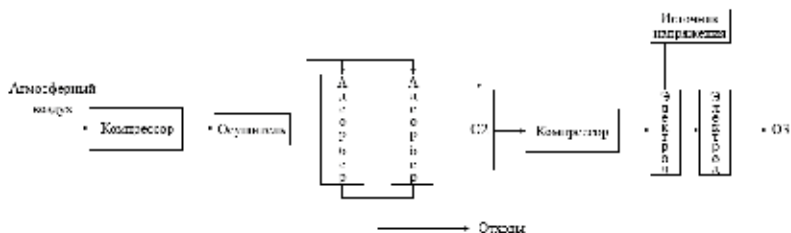


Рис. 4. Установка для интенсификации процесса очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях

На основе вышеизложенного, можно сделать вывод, что совместное использование концентратора кислорода и озонатора существенно увеличивает количество озона на выходе из устройства [5].

Литература

1. Бодров В.И., Махов Л.М., Троицкая Е.В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных зданий сельхозназначения: учеб. пособие для вузов. М.: Издательство АСВ, 2014. 240 с.

2. Протасевич А.М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений : учеб. пособие. Минск : Вышэйшая школа, 2015. 239 с.

3. Сандаков В.Д. Совершенствование и интенсификация процесса очистки воздуха от примесей в замкнутых помещениях импульсной стримерной короной: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань, 2018. 23 с.

4. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция: учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2006. 616 с.

5. Цырук С.А., Березовский В.С. Сравнительный анализ эффективности распределительных сетевых компаний. XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 15–17 ноября 2017 г.) // под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 340 с.

6. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Роженцова Н.В. Разработка алгоритма для эффективного управления технологическим процессом промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера TM171PDM27S Schneider Electric. *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ*. 2020;22(2):75-85. Доступно по: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-2-75-85>.

УДК 004.056.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ

Роженцова Наталья Владимировна, Афонина Надежда Константиновна,
Савин Николай Александрович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
natalia15969@yandex.ru, nadiaafonina1406@gmail.com, KOLAY_AK@mail.ru

В современном обществе при осуществлении обработки, передачи и хранения информации возникает риск появления угроз, из-за которых может быть потеряна конфиденциальная информация. В статье рассматриваются основные типы информационных угроз, а также применять комплексный подход к построению системы защиты информации.

Ключевые слова: безопасность, дынные, модель, угроза, атака.

MODELING AND FORECASTING INFORMATION THREATS

Rozhentsova Natalya Vladimirovna, Afonina Nadezhda Konstantinovna,
Savin Nikolay Alexandrovich

In modern society, when processing, transferring and storing information, there is a risk of emergence of threats, due to which confidential information may be lost. The article discusses the main types of information threats, as well as apply an integrated approach to building an information security system.

Keywords: security, melon, model, threat, attack.

Современная практика показывает, что в процессе накопления, хранения и обработки информация становится уязвимой, то есть подвергается опасности уничтожения, искажения, раскрытия и краже. Поэтому разрабатывая систему защиты информации особое внимание несомненно нужно обратить на построение модели угроз. Данная модель способна в полной объеме отразить уязвимые места в автоматизированной системе электроэнергетики.

Основными группами с наивысшей степенью угрозы, на которые, в основном, направлены цели и требования безопасности, являются:

1. Угрозы, которые связаны с получением несанкционированного доступа к информации, имеющей сведения о проведенных работах и/или какой-либо конфиденциальной информацией о заказчике (персональные данные, план помещения в котором производились работы и т.д.), при ее обработке и хранении.

2. Угрозы, которые связаны с несанкционированным копированием или кражей информации, содержащей сведения об организации (например, базы данных, которая содержит персональные данные сотрудников компании)

3. Угрозы, связанные с нарушением доступности информации, содержащей сведения о заказчике, передаваемой заинтересованным лицам.

4. Угрозы, связанные с перехватом информации из каналов связи, содержащей сведения о выполняемых работах, при передаче данных с помощью специализированных программно-технических средств.

5. Угрозы, связанные с нарушением согласованности данных, принимаемых от заказчиков, помещаемых в базы данных организации.

Система защиты информации представляет собой совокупность взаимодействующих между собой многофункциональных средств, определенных характером решаемых с их помощью задач.

Для эффективного функционирования такой сложной системы необходимо рассмотреть весь комплекс решаемых вопросов еще на начальной стадии ее создания.

Система защиты информации должна создаваться совместно с создаваемой компьютерной системой. При этом происходит интеграция специально разрабатываемых средств в существующую систему защиты информации. В случае, если как таковой системы защиты не существует, или она находится в неудовлетворительном состоянии, разработка комплексной системы защиты информации (КСЗИ) начинается с «нуля» и включает в себя следующие этапы:

- анализ предметной области;
- разработка технического задания;
- проектирование;
- производство опытного образца.

Для оценки потенциальных угроз строится модель процессов нарушения информационной безопасности, которая включает перечень угроз, источники угроз, методы реализации, степень уязвимости, методы защиты и последствия (рис. 1) [1].

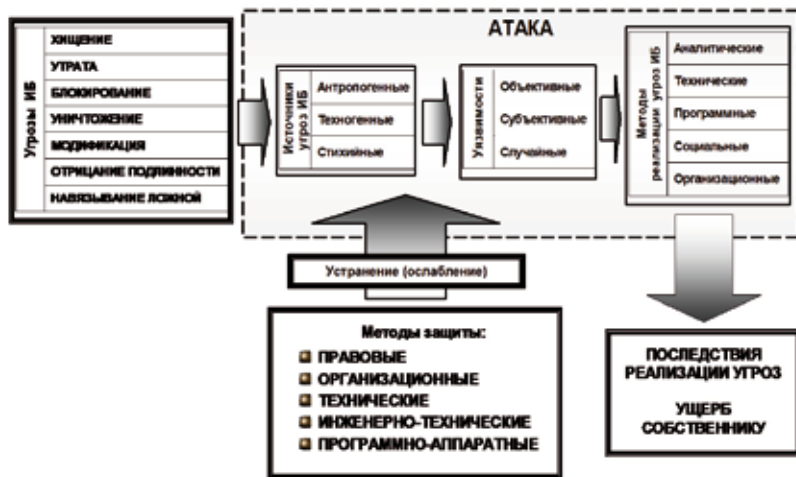


Рис. 1. Модель угроз

Анализ модели угроз позволяет идентифицировать возможные источники угроз и, сопоставив с идентифицированными источниками угроз, определить методы защиты информации

При этом имеем возможность, при необходимости, не меняя самого методического инструментария, вводить новые виды источников угроз,

методы реализации, уязвимости, которые станут известны в результате развития знаний в этой области.

Цель атаки может не совпадать с целью исполнения угроз, а может быть направлена на получение промежуточного результата, необходимого для дальнейшей реализации угрозы. В случае, если цели атаки не совпадают с целью угрозы, сама атака рассматривается как этап подготовки к принятию мер по реализации угрозы, то есть «подготовка к совершению» противоправного действия.

Результатом атаки являются последствия, которые оказывают прямое негативное влияние на экономическое положение организаций и могут привести к полному блокированию их деятельности. Подход к анализу и оценке состояния информационной безопасности основан на вычислении риска для источников угроз и уязвимостей, сравнении этих коэффициентов с заданным критерием и последовательном сокращении полного списка возможных угроз и уязвимостей. Источники для одного конкретного объекта, относящийся к минимуму.

Оценка и анализ проводится на основе исходных данных, которые были получены в результате исследований области защиты информации.

Благодаря таким подходам возможно:

- определить возможные атаки на объект;
- определить источники угроз;
- определить уязвимости системы;
- оценить возможные последствия реализации угроз.

Результаты оценки и анализа могут быть использованы при выборе оптимальных методов, подходящих для противодействия угрозам, а также при аудите реального состояния информационной безопасности объекта в целях его страхования.

Управление целостностью информации – крайне важный элемент защиты информационных систем. Потеря уже имеющихся данных может привести к непредсказуемым последствиям.

Для сохранения информации необходимо применять комплексный подход к построению системы защиты информации, который включает в себя:

- 1) выбор объекта анализа;
- 2) определение целевой функции объекта;
- 3) установление положительных и отрицательных факторов взаимного воздействия объект–внешняя среда, оценку угроз безопасности объекта;

- 4) построение структурной модели объекта с учетом элементов внешней среды, связанных с объектом;
- 5) проведение функционального описания системы;
- 6) построение информационной модели объекта с учетом элементов внешней среды, связанных с объектом;
- 7) проведение исследования системы по построенным моделям;
- 8) формулирование проблемы развития объекта, предложение путей решения проблемы за счет изменения структуры топологии, иерархии отношений, реинжиниринга бизнес-процессов;
- 9) определение показателей качества и эффективности функционирования объекта.

Литература

1. Гаврилова Т.Б. Курс лекций по дисциплине «Информационная безопасность», Красноярск, 2011.

2. Рожнецова Н.В., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р. Кибербезопасность и информационная безопасность в автоматизированных системах управления // Сборник «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов» (ЭЭПП-2019). сборник трудов. Ответственный за выпуск В.В. Вахнина, 2019. С. 317–321.

3. Цырук С.А. История создания и направления деятельности кафедры ЭПП // Сборник докладов XLVI международной научно-практической конференции с элементами научной школы «Федоровские чтения – 2016», г. Москва, Издательский дом МЭИ, 16–18 ноября 2016 г. С. 8–11.

4. Федотов А.И., Ахметвалеева Л.В., Басыров Р.Ш. и др. Нормирование амплитуды высших гармоник при определении фидера с однофазным замыканием на землю // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 1. С. 58–68.

УДК 613. 645: 621.32 (07)

ПОКОЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Рудаков Александр Иванович, Емельянов Артем Николаевич
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
rud-38@mail.ru, arhuntem@inbox.ru

В статье решается современная проблема человечества – кризис энергетических ресурсов, а также сильная загруженность электрических сетей в пиковые часы. В связи

с этим появляется необходимость в использовании нетрадиционных источников энергии.

Ключевые слова: пиковые часы нагрузки, альтернативная энергетика, нетрадиционные возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика.

GENERATIONS OF ARTIFICIAL SOURCES OF LIGHT

RudakovAlexanderIvanovich, EmelyanovArtemNikolaevich

In the article the modern problem of humanity decides is a crisis of power resources, and also strong work-load of electric networks in the clock of spades. In this connection a necessity appears for the use of unconventional energy sources

Keywords: clock of spades of loading, alternative energy, unconventional proceeded in energy sources, sunny energy.

С каждым годом население земли становится более зависимым от разных источников света (ИС). Человеку в наше время недостаточно иметь освещение, ему необходимы при этом, безопасность работы, отсутствие вредных воздействий на организм, экономичность осветительных средств и т. п. [1].

В наше время на рынке сосуществуют несколько поколений искусственных источников света (ИС). Первое поколение, представлено лампами с испускающим свет телом накаливания - лампы накаливания, которые широко использовались на протяжении всего XX века. Второе поколение – газоразрядный источник света, в них ультрафиолетовое излучение преобразуется в видимый свет с помощью люминофора, люминесцентные лампы. Третье на сегодняшний день наиболее распространенное поколение – источники света, основанные на светодиодах. И наконец четвертое наиболее новое поколение – ИС на базе лазерных полупроводниковых диодов, или лазерные источники света (ЛИС). В данной статье больше внимание будет уделено наиболее актуальным на сегодняшний день источникам света.

Совсем недавно опубликованные на сайте Earth Techling результаты исследования Национальной лаборатории Сандия описывали серию проведенных экспериментов, в которых случайно подобранных добровольцев попросили оценить различные схемы освещения, выполненные при помощи искусственных ИС различных поколений и разной яркости. Согласно информации сайта исследования показали, что большинство людей предпочли схемы освещения на основе ИС с лазерными диодами, а так же нейтральным светодиодам. Холодные и тёплые оттенки светодиодного освещения выбирались не так часто, как

ЛИС и нейтральные светодиоды. Таким образом, лазерное освещение, ранее не рассматриваемое в качестве альтернативы, в силу широко распространённого мнения, что оно неприятно для человеческих глаз, стало понятно, что лазерные диоды могут составить конкуренцию нейтральным светодиодам, а миф о негативном восприятии «лазерного» света был развенчан.

Все четыре поколения можно сравнить по нескольким критериям [4], а именно:

- энергоэффективность ИС;
- ширина излучаемого спектра в зоне видимого света, а также его восприятие зрением человека;
- возможные сферы использования;
- влияние на здоровье человека.

Класс энергетической эффективности – уровень экономичности энергопотребления лампы бытового и коммунального назначения, характеризующий его энергетическую эффективность на стадии эксплуатации [4, 5].

Энергоэффективность ламп росла с каждым поколением, так ИС первого поколения, лампы накаливания, мы относим к низким категориям «G», «F», «E», а галогенные лампы, имеющие схожий принцип работы (поэтому отнесем их к первому поколению), получили более высокий класс энергоэффективности, однако на нагрев тратится все еще большая часть энергии, поэтому галогенные лампы, в зависимости от качества исполнения относятся только к классам энергоэффективности «C» и «D». В люминесцентных лампах при прохождении через покрытие люминофора ультрафиолетового излучения, часть полезного излучения задерживается – это неизбежные потери, на ощупь колба остается холодной (почти холодной), а значит не тратит энергию на нагрев. Лампы второго поколения относят к классам «B» и «A».

Светодиодные лампы заняли почетные передовые места в таблице по энергоэффективности, их относят к классу «A», не ниже.

В Европе таблицу энергоэффективности уже расширили, появились еще более энергосберегающие классы: «A+» и «A++».

На рисунке 1 изображены спектры ИС (люминесцентного, естественного, накаливания, галогенных и светодиодных), спектр же лазерных ламп можно варьировать с помощью различных люминофоров, как у люминесцентных, так с помощью добавления дополнительных лазерных лучей для приближения спектра к солнечному.

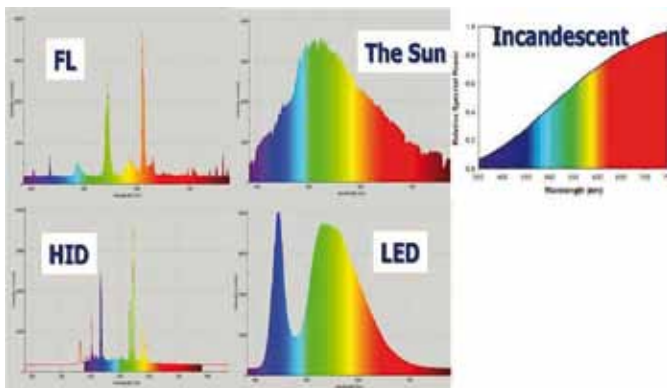


Рис 1. Спектры ИС

Все вышеперечисленные типы ИС можно использовать в бытовой сфере, кроме лазерных, потому что при низкой плотности светового потока они уступают в энергоэффективности, но при росте электрического тока интенсивность светодиодного освещения падает, явление называется «спадом», а лазерного наоборот возрастает с током [3]. Во взрыво- и пожароопасных средах или в технологических процессах с нежелательным выделением тепла на лампах. При таких условиях наиболее уместны светодиодные и лазерные лампы, так как нагрев на светодиодах очень мал, а лазерное излучение монохромно, что позволяет подавать свет по световоду на десятки и сотни метров с минимумом потерь, без теплопередачи между источником света и освещаемой средой.

Основная проблема новых поколений светодиодных ламп в мерцании (пульсации), которое плохо сказывается на зрении человека, но на сегодняшний день коэффициент пульсации (Кп) обычно не превышает 10 % и одобряется министерством здравоохранения. К тому же искусственное освещение сбивает дневной цикл организма и выработку мелатонина.

Вкратце о лазере и оптическом когерентном излучении.

Лазер - прибор, генерирующий оптическое когерентное излучение на основе эффекта вынужденного или стимулированного излучения (LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – аббревиатура выражение усиление света вынужденным излучением) [2].

Свойство когерентности излучения лазера предполагает согласованное протекание во времени и пространстве колебательных или

волновых процессов. Излучаемая лазером электромагнитная волна называется когерентной, если ее амплитуда, частота, фаза, направление распространения и поляризация постоянны или изменяются упорядоченно.

Литература

1. Асау С., Болатов А., Зулбухарова З. и др. Нормы освещения, расчет искусственного освещения // Актуальные научные исследования в современном мире, 2017. № 4-4 (24). С. 152–154.

2. Мясоедов Л.А., Ерохина С.В. Лазерное освещение // В сборнике: Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов // Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, 2019. С. 271–273.

3. Хортов В.П., Скворцов А.А., Зуев С.М. Лазерная лампа освещения // Патент на полезную модель. RUS 167485. 14.06.2016.

4. Правовой фонд нормативной и технической документации. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200102235>. Ссылка активна на 28.10.2019.

5. ООО «Энергоэффективность и энергоаудит». Доступно по <https://energo-audit.com/klass-energoeffektivnosti-lamp>. Ссылка активна на 28.10.2019.

6. Денисова А.Р., Закирова З.Р. Спектральный анализ искусственных источников света // Сборник «Фёдоровские чтения – 2018. XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы» под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной, 2018. С. 162–165.

7. Цырук С.А., Лисицын И.Д. Энергосберегающие источники света и инновационный подход к построению систем искусственного освещения объектов ЖКХ // Материалы всероссийской научно-методической конференции «Наука. Технология. Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий» Салават, 2019. С. 196–202.

8. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Стриелковски В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 4. С. 33–40.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Рудаков Александр Иванович, Гиниятуллина Илюза Наилевна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
rud-38@mail.ru, ilyza1998@bk.ru

Статья раскрывает существо понятия гибридные возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В ней отмечается, что это энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на земле, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биocenозов растительного и животного происхождения. Характерной особенностью ВИЭ является их неистощаемость. Особенностью гибридных установок является использование нескольких видов энергии.

Ключевые слова: гибридная, электроустановка, возобновляемые, источник, энергия, энергетика, энергоресурсы, солнце, ветер, биомасса, социология.

HYBRID POWER PLANTS ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

Rudakov Alexander Ivanovich, Giniyatullina Ilyuza Nailovna

The article reveals the essence of the concept of hybrid renewable energy sources (RES). It notes that these are energy resources of constantly existing natural processes on earth, as well as energy resources of the waste products of biocenoses of plant and animal origin. A characteristic feature of RES is their inexhaustibility. A feature of hybrid installations is the use of several types of energy.

Keywords: hybrid, electrical installation, renewable, source, energy, energy, energy resources, sun, wind, biomass, sociology.

В связи с предкризисной обстановкой экономики в мире, в том числе и в России, для электроснабжения потребителей выгоднее использовать гибридные источники энергии - одновременную работу несколько видов возобновляемой энергии (ВИЭ) [1,4]. Вместе с этим, продолжающее использование автономных источников энергии (АИЭ) позволяет значительно повысить надежность электроснабжения потребителей.

Чаще всего к возобновляемым источникам энергии относят энергию солнца, ветра, движения воды, биомассы, тепловую энергию земной коры и океана.

Солнечная энергия. Система энергоснабжения, основанная на солнечных батареях, конструктивно проста. Как и в большинстве других систем электроснабжения от автономных источников, в ней 4 элемента –

сами фотоэлектрические панели, аккумуляторы, контроллер заряда и инвертор, преобразующий низковольтный постоянный ток к бытовому стандарту ~220 В. Однако, все элементы должны быть согласованы между собой. Страны, в которых наибольшее число установленных мощностей в 2018 году по отрасли: Китай, США, Япония, Индия, Германия, Италия, Франция. На 2018 год общая мощность всех солнечных электростанций мира составила 480 ГВт, что составляет около 21 % мировой возобновляемой энергетики;

Ветровая энергия. Хотя ветровая энергия распространена по всему миру, больше всего в установлено в Европе, США, Китае, Индии и Латинской Америке. На 2018 год установленная мощность всех ветроэлектростанций на земле составляла 540 ГВт, что составляет почти 24 % мировой возобновляемой энергетики;

Биоэнергетика. Это направление основано на генерации процессов переработки твердых, жидких и газообразных субстратов для получения биотоплива.

К твердому биотопливу относятся дрова, торф, опилки и др.

Жидкое биотопливо получают из различного биологического сырья: мякины, залежалого зерна, жома сахарной свеклы.

Биогаз получают в основном из отходов органического происхождения: от кукурузы, особенно с початками и картофеля, до навоза и птичьего помета.

Мощность биогенерации в 2018 году составляла 115 ГВт, что составляет около 5 % мировой возобновляемой энергетики.

Некоторые виды электроэнергетики, которые до настоящего времени не получили широкого распространения.

Градиент-температурная энергетика

Установка работает на полезную нагрузку, чаще всего, на мощность зарядки аккумуляторов. Остальная мощность расходуется на собственные нужды. В их число входят энергия на работу трех насосов и двух теплообменников, турбины и электрогенератора.

Три насоса служат:

- один для забора теплой воды из океана (теплого моря);
- второй – для подкачки холодной воды с глубины ~ 700 метров;
- третий для перекачки вторичной рабочей жидкости (аммиак) внутри самой системы, т. е. из конденсатора в испаритель.

Энергетика градиент-солености

Изо всех известных способов перспективным в настоящее время считается – преобразование при помощи осмоса, поэтому часто эту

энергетику называют энергией осмоса. Это явление заключается в использовании полупроницаемой мембраны в качестве перегородки в сосуде между пресной и соленой водой [6,7]. Возникающие при этом осмотические силы будут перекачивать пресную воду в соленую. Молекулы пресной воды будут переходить через мембрану во вторую половину сосуда, заполненную соленой водой, а молекулы соли мембрана не будет пропускать в первую половину с пресной водой.

Энергия эффекта запоминания формы (ЭЗФ)

ЭЗФ – эффект запоминания формы – явление, обнаруженное учеными Г.В. Курдюмовым и Л.Г. Хондросом, в 1949 г. Эффект запоминания формы существует в особых сплавах состоит в том, что изделия из них восстанавливают после деформации свою начальную форму при нагреве. Эта энергия используется для дальнейшего преобразования в другие виды, в том числе и электрическую.

В настоящее время выработка и получение электрической энергии определяется не только целесообразностью с точки зрения экономики, но и с точки зрения экологии, социологии, а также безопасности.

В России использование ВИЭ большей частью обосновывается тем, что зоны энергоснабжения (Дальний Восток, Крайний Север и др.) находятся на значительных и труднодоступных расстояниях [2]. Как пример, можно сослаться на широко используемые станции на основе автономных гибридных энергоустановок. Как правило, установки состоят из одного, двух основных дизель-генераторов, и одного резервного дизель-генератора, двух солнечных модулей и инверторов [3].

Автономная гибридная электростанция обеспечивает качественную электроэнергию без перебоев 24 часа в сутки. Расход топлива снижается при этом с 0,55 до 0,24 кг.

Особое внимание должно быть уделено сопряжению разнотипных электрических элементов в одной системе. Сравнение схем электроустановок показал, что наиболее перспективным вариантом сопряжения разнотипных энергетических элементов является применение специальной промежуточной вставки постоянного тока. Это позволяет упрощено суммировать и распределять электричества от генерирующих источников и использовать эффективные схемы управления процессами.

В этом случае гибридные энергетические комплексы строятся по агрегатному принципу, грамотно масштабируются и перестраиваются. Используя модульный принцип построения электросистем, проще разрабатывать линейки преобразователей на модельный ряд мощностей.

Большим и важным достоинством предлагаемой схемы гибридной электростанции является возможность существенного расширения

функций системы буферного накопления энергии при введении в систему управления входных сигналов об интенсивности солнечной радиации [5].

Литература

1. Безруких П.П. Об индикаторах состояния энергетики и эффективности возобновляемой энергетики в условиях экономического кризиса // Вопросы экономики, 2014. Т.8. С. 64–70.

2. Кирпичникова И.М., Малюгина А.А. Оценка энергетической эффективности возобновляемой энергетики // Альтернативная энергетика и экология, 2015. Том 7-8. С.19–24.

3. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В. Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1992. 448 с.

4. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 448 с.

5. Рудаков А.И., Максимова В.А., Фаттахов И.И. Повышение эффективности гибридных электроустановок на базе возобновляемых источников энергии // Сб. Междунар. н-практ. конф. «Фундаментальные и прикл. науч. исслед.» 14.03.2019. Душанбе, Таджикистан. С. 36–40.

6. Денисова А.Р., Закирова З.Р. Спектральный анализ искусственных источников света // Сборник «Фёдоровские чтения – 2018. XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы». под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной, 2018. С. 162–165.

7. Некрасов С.А., Цырук С.А. Переход от удовлетворения спроса на электроэнергию к его формированию как условие интеграции возобновляемых источников в энергосистеме // Промышленная энергетика, 2018. № 3. С. 2–6.

УДК 66-97 (62-97)

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАМЕРОВ ВЫХОДА БИОГАЗА ПРИ ЕГО ПОЛУЧЕНИИ МЕТОДОМ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Рудаков Александр Иванович, Иванова Вилия Равильевна,
Семенов Дмитрий Германович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
rud-38@mail.ru, vr-10@mail.ru, cemehob.dimitriy@gmail.com

Статья направлена на оценку повышения электроэнергетической эффективности системы в режиме анаэробного сбраживания отходов животноводства. В ней даны

конструктивные и технологические особенности ее основных элементов. Особое внимание уделено средствам и приборам для выхода и замера получаемого биогаза.

Ключевые слова: биогаз, метантенк, реактор, анаэробное сбраживание, выход биогаза, экология, энергетика, агрохимия, социология.

INCREASE OF EXACTNESS OF MEASURING OF EXIT OF BIOGAS AT HIS RECEIPT BY METHOD OF ANAEROBIC FERMENTATION OF WASTES OF STOCK-RAISING

Rudakov Alexander Ivanovich, Ivanova Vilja Ravilyevna,
Semenov Dmitry Germanovich

The article is aimed at assessing the increase in the electric power efficiency of the system in the mode of anaerobic digestion of animal waste. It gives the design and technological features of its main elements. Particular attention is paid to the means and devices for the outlet and measurement of the resulting biogas.

Keywords: biogas, methane tank, reactor, anaerobic digestion, biogas yield, ecology, energy, agrochemistry, social science.

Большое количество отходов животноводства, растениеводства и бытовых отходов практически всех отраслей агропромышленного комплекса и пищевой промышленности могут быть эффективно переработаны с использованием технологий анаэробного сбраживания с получением газообразного топлива (биогаза) и высокоэффективных органических удобрений [1, 3].

Промышленная переработка органических отходов анаэробным способом позволяет решить такие важные задачи, как:

– экологические – переработка отходов, полезная часть которых (как правило органическая) используется, после доработки, для кормления животных и птиц, а часть (неорганическая) ликвидируется;

– энергетические – получение топлива и энергии, в том числе и электрической [4];

– агрохимические – получение экологически чистых удобрений для повышения плодородия почв и в итоге, получение продуктов питания [5];

– социальные – улучшение условий труда и быта сельских и большой части городских жителей.

Переработка органических отходов анаэробным способом производится в метантенках. Современные метантенки представлены широким спектром конструкций, начиная с простых и заканчивая технологически совершенными установками. Однако независимо от режимов работы и типов реактора, их внешний вид, как правило, представляет собой герметически закрытую емкость, чаще всего цилиндрическую, горизонтального или вертикального исполнения, наружная поверхность которой теплоизолирована [6, 7].

На первом этапе проведения лабораторных и лабораторно-производственных экспериментов было предусмотрено:

- определение выхода биогаза сбраживанием куриного помета в термофильном режиме;
- определение выхода биогаза при барботажном перемешивании субстрата;

Для определения выхода биогаза существует большое количество технических средств и приборов. Ниже приведены некоторые из них, наиболее широко используемые в настоящее время, которые были использованы в данной работе.

*Определение выхода биогаза с помощью электроконтактного манометра.
Манометр с демпфером ДМ2010 СГ У2*

Давление в малом газгольдере определяли с помощью электроконтактора, который использовался для автоматического включения и выключения компрессора. Для этой цели осуществлялся сбор биогаза в малом газгольдере. После накопления определённого количества биогаза с определённым давлением, компрессором осуществлялась перекачка газа из малого газгольдера в хранилище или непосредственно на сжигание.

Манометр ДМ2010 СГ У2 – это показывающий сигнализирующий прибор. Он использовался для измерения избыточного и вакуумметрического давления в различных средах. Прибор можно использовать для измерения давления пара, газа и жидкости. Главное условие – вещества среды не должны вступать в агрессивную химическую реакцию с деталями манометра. Также с помощью манометра производилось управление внешними электрическими цепями от сигнализирующего устройства прямого действия.

На рисунке 1 показан электроконтактный манометр.

Маркировка – ДМ2010 СГ У2-1,5-0,4.

Диаметр корпуса – 100 мм.

Диапазон измерения – 0-0,4 МПа.

Класс точности – 1,5.

Масса – 1,0 кг.

Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69.

У2 указывает, что приборы имеют диапазон рабочих температур от -50 до +60 °С.

Напряжение внешних коммутируемых цепей: 380 В (включая 24; 27; 36; 40; 110; 220 В) – для цепей переменного тока; 220 В (включая 24; 27; 36; 40; 110 В) – для цепей постоянного тока.



Рис. 1. Электроконтактный манометр



Рис. 2. Биореакторный термометр биметаллический



Рис. 3. Газовый счетчик

Идентичность показанному на рисунке 1 электроконтактному манометру представляет мановакууметр МПЗ-УУ2 (рисунок не показан).

Назначение и основные технические данные мановакууметра также определение выхода биогаза.

Мановакууметр МПЗ-УУ2 использовался для определения давления на фильтре, где газ сепарировался от водяных паров. При проведении работ следует помнить - что допустимой для работ с мановакууметром, является среда с допускаемой концентрацией кислорода от 23 %.

Техническая характеристика: температура при проведении работ от -50 до +60°; устойчивость к климатическим воздействиям – исполнение У2 по ГОСТ 15150-69; виброзащищенность – группа L3 по ГОСТ 12997-84; степень защиты - IP40; диаметр корпуса – 60 мм; средний срок службы – 10 лет; масса не более – 0,15 кг.

На рисунке 2 показан биметаллический термометр. Назначение и основные технические данные термометра биметаллического – определение и поддержание температуры в реакторе.

Расшифровка обозначения: ТБП63Ю/50/Т-(0-120)С-ГСТ.

ТБП – Термометр. Биметаллический. Показывающий.

63 – диаметр корпуса, мм.

Ю – торговая марка «ЮМАС».

50 – длина погружного штуцера, мм.

Т – Торцевой штуцер-сзади (Р - Радиальный- снизу)

(0-120)С – диапазон измеряемой температуры

ГСТ – в комплекте с Гильзой Стальной для Термометра (ГНТ – с гильзой нержавеющей; по умолчанию - с гильзой латунной ГЛТ).

На рисунке 3 показан газовый счетчик ВК-Г4.

При помощи газового счетчика ВК-Г4 определяется:

- определение объема выхода биогаза;
- количество производимого биогаза в газгольдер (хранилище газа);
- диапазон рабочих расходов от 0,016 м³/ч до 6 м³/ч;
- погрешность измерения:
 - в диапазоне расходов: $Q_{\text{мин.}} \leq Q < 0,1Q_{\text{ном.}} \pm 3\%$;
 - в диапазоне расходов: $0,1Q_{\text{ном.}} \leq Q \leq Q_{\text{макс.}} \pm 1,5\%$.
- рабочее давление газа 50 кПа.

Зависимость выхода биогаза от качества и перемешивания субстрата.

Процесс получения биогаза в значительной степени зависит от качества и времени перемешивания субстрата.

Продолжительность сбраживания при перемешивании снижается за счет разрушения образующейся поверхностной корки.

Наиболее перспективным способом повышения энергетической эффективности анаэробного сбраживания является сокращение расхода энергии на подогрев свежего субстрата [2]. Один из возможных путей снижения затрат тепловой энергии на подогрев субстрата состоит в уменьшении влажности органических отходов, подаваемых на сбраживание [5].

Литература

1. Ковалев А.А. Энергетические аспекты использования биомассы на животноводческих фермах // Российский химический журнал. М.: 1997. Т. 41, № 6. С. 100–104.

2. Кошкин М.В., Решетникова И.В., Савушкин А.В. Перспективы использования биогаза // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2009. № 6. С. 33–34.

3. Панцхава Е.С., Пожарнов В.А. Биогазовые технологии и решение современных проблем экологии, энергетики и агрохимии в России // Перспективы энергетики. М.: 2002. Т. 6, № 2. С. 163–171.

4. Рудаков А.И., Нурсубин М.С., Чапчин С.А. Математическая модель тепловых потоков в биореакторе биогазовой установки // Мат. методы в технике и технологии Сб. тр. XXI междунар. научн. конф.: 10 т. Секция–11. Информ. технол. систем и процессов ММТТ. Саратов, 2008. С. 135–137.

5. Саловарова В.П., Козлов Ю.П. Эколого-биотехнологические основы конверсии растительных субстратов: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом «Энергия», 2007. 544 с.

6. Иванова В.Р., Рудаков А.И., Денисова А.Р. и др. Разработка алгоритма эффективного управления систем электрооборудования биогазовых установок // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», 2020. С. 69–81.

7. Сенчук Д.А., Цырук С.А., Орлова К.В. Перспективы внедрения в России программ по управлению спросом на электроэнергию // Промышленная энергетика, 2016. № 10. С. 30–36.

8. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Стриелковски В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. № 4. С. 33–40.
УДК 621.311

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ СТАНЦИЙ

Салахутдинов Булат Маратович, Шириев Равиль Рафисович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань,
Россия
bulat110@mail.ru, shrr@list.ru

В статье предложен метод повышения эффективности солнечных панелей: установки концентраторов солнечного излучения. Указаны и обоснованы достоинства и недостатки данного метода. На его основе сделан общий вывод и выбраны самые эффективные технологии, известные в наши дни.

Ключевые слова: солнечная энергия; повышение эффективности; концентраты солнечного излучения.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SOLAR STATIONS

Salakhutdinov Bulat Maratovich, Shiriev Ravil Rafisovich

The article discusses various methods of increasing the efficiency of solar panels: installing solar concentrators. The method is justified, an analysis of the advantages and disadvantages is given. On its basis, a general conclusion was made and the most effective technologies known today were selected.

Keywords: solar energy; increased efficiency; solar concentrates.

Солнечные батареи все больше распространяются в современном мире благодаря своей общедоступности и неисчерпаемой солнечной энергии, а также из-за ее экологичности. Но есть ряд, по которым солнечные станции не могут превзойти другие станции по получению электрической энергии таких как: ГЭС, АЭС, ТЭС и т.д.

В наше время необходимо новые способы и устройства, а также пути повышения эффективности солнечных станций, позволяющих максимально эффективно преобразовать энергию Солнца в электричество. Одним из них является выбор концентраторов солнечного излучения [1].

Рассмотрим основные виды установок солнечных панелей с концентраторами излучения [2].

Параболцилиндрический концентратор – это отражающий материал параболической формы, который фокусирует солнечный свет в центр теплоносителя. Теплоноситель представляет собой черную трубу из металла, который нагревается до температуры 390°C. В качестве теплоносителя может использоваться масло или фотоэлементы.

Плоский зеркальный отражатель с зеркалами Френеля состоит из множества плоских зеркал, которые концентрируют излучение на поверхность фотоэлектрического элемента или на вершину башенной конструкции с приемником, где находится теплоноситель.



Рис. 1. Параболоцилиндрический концентратор

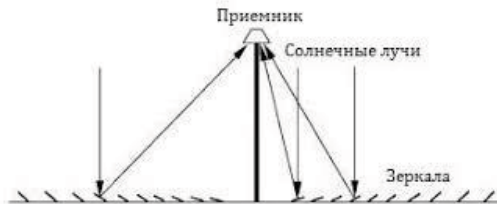


Рис. 2. Плоский зеркальный отражатель с зеркалами Френеля

Параболический концентратор – это установка, изготовленная в форме параболоида, которая ориентируется по двум координатам для слежения за Солнцем. Солнечная энергия фокусируется на небольшое пространство. Двигатель Стирлинга либо фотоэлектрический элемент закрепляется на кронштейне в фокусе отражателя. Необходимо, чтобы двигатель Стирлинга располагался так, чтобы область нагрева находилась в фокусе отражателя.



Рис. 3. Параболический концентратор

Солнечные башни представляет собой приемник, расположенный на центральной башне. Плоские отражатели состоят из поля гелиостатов, которые управляются приемником, фокусирующий солнечный свет по двум координатам[4,5]. Чтобы не допустить взаимного затенения, приемник располагается над полем из плоских отражателей. Данная установка используется для аккумуляирования энергии, которая приводит турбину в движение.

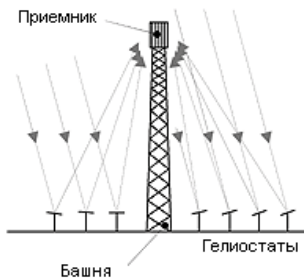


Рис. 4. Солнечная башня

Проведем анализ преимуществ и недостатков всех вышеуказанных типов концентраторов и сведем полученные данные в таблицу (табл. 2).

Таблица 1

Преимущества и недостатки концентраторов солнечных станций

| Тип концентратора солнечного излучения | Преимущества | Недостатки |
|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Параболоцилиндрический концентратор | Используется одноосный механизм, который ориентируется по одной оси. Установка следит за Солнцем с запада на восток. Температура теплоносителя может достигать 400 °С, поэтому это – самая прогрессивная технология в сфере получения электроэнергии из тепла | Происходят перегревы при использовании фотоэлементов в качестве теплоносителя, поэтому необходимо дополнительное охлаждающее устройство |

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Плоский зеркальный отражатель с зеркалами Френеля | Дешевизна и простота конструкции отражателей. Меньше требований в эксплуатации в связи с монтажом устройства близко к земле | Эффективность меньше чем у параболических концентраторов. Сложная установка и обслуживание аккумуляторов в данную систему |
| Параболический концентратор | Эффективная система с КПД 30%. Слежение за солнцем осуществляется двумя приемниками, в связи с этим установка может работать автономно | Сложность конструкции и изготовления зеркал в параболической форме. Дороже чем у других концентраторов |
| Солнечные башни | Управляются по двум осям, благодаря чему система является эффективной, а так же присутствует аккумуляторные установки, которые записывают тепловую энергию в связи с чем работа может продолжаться без солнечного света | Достаточно дорогостоящие. Требуются большие пространства для размещения |

Подытоживая можно сказать, что параболический концентратор и солнечные башни являются наиболее эффективными, которые начали использоваться в некоторых странах мира и успешно себя показали. Все предложенные оборудования обладают общей целью: повысить КПД и эффективность использования солнечных станций, чтобы сделать их более актуальными и конкурентоспособными, уменьшить использование природных ресурсов.

Литература

1. Ахметшин А.Т., Ярмухаматов У.Р. Повышение эффективности солнечных фотоэлектрических установок для децентрализованного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2015. № 8. С.150–156.

2. Кашкаров А.А. Солнечные батареи и модули как источники питания // Современная электроника, 2015. № 5. С. 8–15.

3. Солнечный концентратор: виды и конструктивные особенности. Доступно по: URL: <http://ampersite.ru/sovety-elektrika/solnechnyj-konsentrator-vidy-i-konstruktivnye-osobennosti.html>. Ссылка активна на 03.01.2017.

4. Рудаков А.И., Максимова В.А. Повышение энергоэффективности солнечных фотоэлектрических установок // Сборнике «Наука. Технология. Производство» – 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан, 2019. С. 193–196.

5. Некрасов С.А., Цырук С.А. Трансформация требований к развитию энергоснабжения в результате расширения использования возобновляемых источников энергии // Промышленная энергетика, 2018. № 4. С. 37–2.

6. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин. Промышленная энергетика, 2014. № 5. С. 27–30.

7. Городнов А.Г. Построение энергоэффективных электротехнических комплексов с автономной системой электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 4. С. 64–78.

УДК 620.95

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОГАЗА В РОССИИ

Сарыков Никита Сергеевич, Шириев Равиль Рафисович
ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»,
г. Казань, Россия
nikita.sarykov@incomsystem.ru, shrr@list.ru

В настоящее время истощение ископаемых видов топлива и соблюдение экологических требований в отношении сокращения выбросов парниковых газов привлекли интерес к нетрадиционному топливу из биоресурсов. Анаэробное сбраживание превращает отходы в ценные источники, параллельно сокращая объемы отходов. Биогаз может быть многообещающим источником энергии в России, и в этой работе обсуждаются перспективы этой области в нашей стране. Биогаз производится в результате анаэробного сбраживания и считается источником чистой энергии для тех, кто хочет использовать альтернативные источники энергии.

Ключевые слова: электричество, энергия, биогаз, анаэробное сбраживание, биоматериал.

PROSPECTS FOR BIOGAS IN RUSSIA

Sarykov Nikita Sergeevich, Shiriev Ravil Rafisovich

Nowadays, the depletion of fossil fuels and compliance with environmental requirements to reduce greenhouse gas emissions have attracted interest in unconventional fuels from bioresources. Anaerobic digestion turns waste into valuable sources while reducing waste volumes. Biogas can be a promising energy source in Russia, and this paper discusses the prospects for this area in our country. Biogas is produced by anaerobic digestion and is considered a clean energy source for those looking to use alternative energy sources.

Keywords: electricity, energy, biogas, anaerobic digestion, biomaterial

В некоторой степени биогаз можно производить из большинства влажных материалов биомассы и органических отходов, независимо от их состава. Сырье влияет как на экономическую, так и на экологическую устойчивость биогазового проекта в зависимости от затрат на поставку сырья и углеродного баланса системы, включая летучие выбросы ПГ на биогазовой установке. В то время как некоторые виды сырья, такие как пищевые отходы, могут создавать дополнительные преимущества в виде сборов за ворота, затрат на утилизацию и предотвращения выбросов метана.

Биогазовые установки могут располагаться в любом районе и не требуют строительства дорогостоящих газопроводов и сетевой инфраструктуры, а также позволяют новому предприятию сэкономить на стоимости подключения к сетям и распределения электроэнергии. В связи с этим следует подчеркнуть, что максимальный потенциал сосредоточен в первую очередь в энергодефицитных регионах. В частности, при суммарном потенциале производства биогаза в России до 75 млрд м³ в год на Южный федеральный округ приходится 24,4 млрд м³, на Приволжский федеральный округ – 18,3 млрд м³, на Центральный федеральный округ – 12,1 млрд м³. Это отличает биогазовую энергию от других возобновляемых источников – в России территории их рентабельного использования, как правило, не совпадают с регионами спроса на получаемую энергию. Благодаря биогазу достигается и технологическая гибкость: его использование позволяет получать одновременно несколько видов энергоресурсов – газ, моторное топливо, тепло и электричество.

Если сравнивать биогаз с другими видами ВИЭ, такими как энергия ветра и солнца, то его важнейшая особенность, которая делает его похожим на традиционные виды производства энергии, – постоянство его

производства и максимальное использование установленной мощности. Наиболее заметный недостаток биогазовой энергетики – большие капитальные затраты на единицу мощности, а также относительно узкий коридор рентабельности проекта. Стоимость 1 кВт установленной электрической мощности биогазовой установки колеблется от 2 до 5 тысяч евро, в зависимости от размера станции (чем меньше, тем дороже) и вида сырья. Установки большой мощности (от 10 МВт), использующие наиболее рентабельные виды отходов (например, сахарную массу, пищевые отходы с повышенным содержанием жира), стоят менее 2 тысяч евро за 1 кВт. Небольшие установки (менее 1 МВт), использующие нерентабельные виды отходов (например, навоз КРС), могут стоить более 6–7 тысяч евро за 1 кВт. Средние капитальные затраты большинства биогазовых проектов мощностью от 2 до 5 МВт находятся в пределах 3–4 тысяч евро за 1 кВт [1].

С другой стороны, сравнение уровня вложений на единицу мощности с другими источниками энергии показывает, что потеря энергии биогаза не очевидна для этого показателя. Например, стоимость крупных АЭС оценивается в 5 тысяч евро за 1 кВт / час. Стоимость 1 кВт больших ветряных электростанций составляет около 2 тысяч евро, солнечных станций – 5 тысяч евро. Современные угольные электростанции оцениваются примерно в 2 тысячи евро за 1 кВт [3]. Существенным плюсом является только газовая генерация стоимостью около 1–1,5 тысячи евро за 1 кВт. Однако газ доступен не везде, и к 2021–2022 годам, согласно планам правительства, внутренние тарифы на него будут доведены до уровня европейских. Электроэнергия из этого газа будет слишком дорогой. Неслучайно растущий спрос на решения в области биогаза наблюдается со стороны владельцев когенерационных мини-ТЭС, работающих на природном газе.

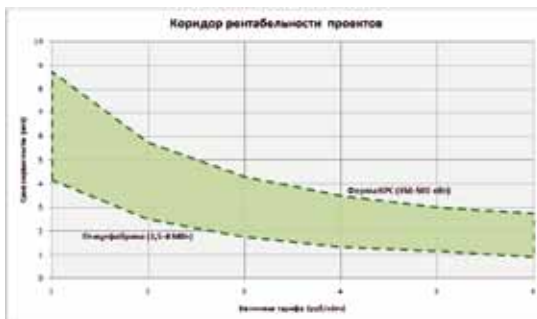


Рис. 1. Коридор рентабельности проектов

Первоначальная стоимость производства биогаза в сельских домохозяйствах составляет около 50 долларов США за один биогаз. Эта стоимость окупается в течение 9–18 месяцев за счет экономии на топливе. В сельских районах, где основным топливом является древесина, использование биогаза снижает ущерб экосистеме (меньше вырубки лесов и загрязнения) и приводит к экономии времени до 5 часов в день на одно домохозяйство – времени, которое можно использовать для других более продуктивных задач. Для расчета экономических показателей использования биогаза предполагается, что 0,45 кг равен 1 м³ биогаза; таким образом, теоретический расчет 3,61 м³ / день будет соответствовать 1,63 кг газа в день, что составляет примерно 179 руб. в день или 64680 руб. в год.

Остаток, полученный в процессе пищеварения, имеет высокое содержание питательных веществ; поэтому это ценное удобрение, позволяющее сэкономить за счет товарных удобрений. Примерно 1 тонна биоудобрения эквивалентна 40 кг мочевины, 50 кг нитрата калия и 94 кг тройного суперфосфата. Международные цены на удобрения варьируются от 15300 до 22800 руб. за тонну. Если предположить, что средняя цена удобрений составляет 19 руб. за 1 кг, каждая тонна биоудобрений позволяет сэкономить 3500 руб. на затратах на удобрения. Эта экономия дополняет важный вклад в отношении микроорганизмов и органических материалов, а также возможность получения твердых материалов при опорожнении варочного котла, при определённой температуре [3].

Когда биогаз используется для производства электроэнергии, эффективность процесса зависит от размера и технологии ТЭЦ и колеблется от 31 % до 43 % для электроэнергии, от 35 % до 60 % для тепла, с общим КПД от 78 % до 91 %. Поскольку на большинстве ТЭЦ вырабатывается больше тепловой энергии по сравнению с электричеством, использование тепла необходимо для эффективного использования биогаза. Различное конечное использование тепла может включать отопление зданий, сушку сельскохозяйственных культур и обеспечение теплом промышленных процессов [4,5]. В целом стимул к использованию тепла может быть довольно низким и зависит от рынка, на который могут влиять сезонный спрос и низкие цены. Например, только 36 % сельскохозяйственных биогазовых установок в Германии используют более 50 % производимого тепла, а 30 % – только 10 % или меньше.

Биогазовые установки приводят к созданию рабочих мест и региональному развитию. Планирование, строительство, оценка затрат, производство, контроль и распределение – все это необходимо для обеспечения успешного развития биогазовых установок.

Для изолированного, сельского и менее обеспеченного населения преимущества устойчивых анаэробных систем пищеварения даже более очевидны, чем для городского населения, и порождают энергетическую независимость, необходимую этим сообществам. В сочетании с продовольственной безопасностью они служат убедительным аргументом как для городских, так и для сельских общин.

Загрязнение помещений дымом, связанное с использованием дров или древесного угля, может вызывать риски для здоровья, такие как респираторные заболевания (отсутствие выбросов твердых частиц, в отличие от дров или древесного угля). Кроме того, биореакторы снижают содержание патогенов в органических материалах. Следовательно, санитарное состояние дома может быть улучшено благодаря бытовым биогазовым установкам.

Основными экономическими стимулами для внедрения биогазовой технологии являются затраты на производство биогаза по сравнению с доходами от продажи или использования произведенного биогаза. Кроме того, сборы за ворота, снижение цен на удобрения и предотвращение затрат на утилизацию за счет уменьшения объема осадка при очистке сточных вод или снижения прочности сточных вод являются решающими факторами, влияющими на экономическую жизнеспособность биогазовых проектов.

Производство биогаза создает высокую добавленную стоимость на местном уровне, особенно если он получен из бытовой биомассы / отходов, которые перерабатываются на местных предприятиях. Несмотря на более высокую рыночную цену по сравнению с не возобновляемым природным газом, необходимо учитывать возросшую добавленную стоимость, создаваемую производством биогаза.

Литература

1. Васильев Р.Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 3: биогаз / Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова, 2007. Т. 3. № 3. С. 54–61.
2. Сидоренко О.Д. Биологические технологии утилизации отходов животноводства. Москва, Изд-во МСХА, 2001. 74 с.
3. Афанасьев В.Н. Состояние и основные пути улучшения экологической ситуации // Охрана окружающей среды и «органическое» 119 сельское хозяйство. Сб. докладов научно-производственного экологического семинара. Под ред. В. Н. Афанасьева. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2005. С. 5–14.

4. Рудаков А.И., Сидоров А.Е., Ильясов И.В. Использование свободной энергии в генерирующих системах электроснабжения небольших объектов // Сборник «Наука. Технология. Производство» 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан. 2019. С. 44-48.

5. Гайфуллин И.Х., Зиганшин Б.Г., Рудаков А.И. и др. Автоматизация процесса анаэробного сбраживания органических отходов // Сборник «Агроинженерная наука XXI века. Научные труды региональной научно-практической конференции», 2018. С. 339–343.

6. Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р. и др. Управляющая измерительно-информационная система экспериментального стенда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2020. Т. 22. № 4. С. 88–98.

УДК 628.931:621.31

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОВРЕМЕННЫХ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ И УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Тюрина Наталья Александровна, Грибанов Алексей Александрович
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Россия
TurinaNatalie@yandex.ru, Diread@mail.ru

Статья посвящена решению задачи установления взаимосвязи светотехнических параметров современных световых приборов и удельной электрической мощности на единицу площади помещения. Представлены результаты использования экспериментального подхода к получению зависимости. Приведены полученные зависимости удельной мощности на единицу площади помещения от индекса цветопередачи, цветовой температуры, светоотдачи и мощности лампы.

Ключевые слова: освещенность, удельная мощность, общее освещение, расчет осветительных нагрузок, энергосбережение.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LIGHTING PARAMETERS OF MODERN LIGHTING DEVICES AND THE SPECIFIC POWER OF THE ELECTRIC LOAD

Tyurina Natalia Alexandrovna, Gribanov Alexei Alexandrovich

The article is devoted to solving the problem of establishing the relationship between the lighting parameters of modern lighting devices and the specific electrical power per unit

area of the room. The results of using an experimental approach to obtaining the dependence are presented. The obtained dependences of the specific power per unit area of the room on the color rendering index, color temperature, light output and lamp power are presented.

Keywords: illumination, specific power, general lighting, calculation of lighting loads, energy saving.

Расчет электрических нагрузок является одним из наиболее важных и ответственных этапов проектирования систем электроснабжения. Электрические нагрузки делятся на силовые и осветительные. Для расчета осветительных нагрузок используют три основных метода: метод удельной мощности, метод коэффициента использования, точечный метод. Выбор подходящего метода для расчета зависит от следующих факторов: от степени детализации проектирования систем освещения, от комплекта исходных данных, имеющихся в наличии, удобство расчета и времени, которое необходимо затратить на расчеты. Для проектирования освещения с малой степенью детализации часто используют метод удельной мощности. Для использования этого метода требуется владеть информацией о площади освещаемого помещения, удельной мощности, определяемой из таблицы, соответствующей используемым источникам света, рабочая высота подвеса источников света, нормируемая освещенность, рекомендуемая для данного разряда зрительных работ. Искомое значение удельной мощности определяется на пересечении значения высоты подвеса светильников, нормируемой освещенности и площади освещаемого помещения. Однако, значения удельной мощности были получены в 50-х годах двадцатого века, с тех пор технологический процесс изготовления источников света существенно изменился, часть источников, не выдержав конкуренции, вышли из практического использования. Им на смену пришли усовершенствованные модификации и совершенно новые источники света, превосходящие своих предшественников по технико-экономическим показателям. Соответственно, использование значений полувековой давности для проектирования систем освещения с использованием усовершенствованных источников некорректно, а для ряда современных источников использование метода удельной мощности невозможно, поскольку значения и вовсе отсутствуют.

Для решения сложившейся проблемы был проведен комплекс экспериментов, в которых были установлены актуальные значения удельной мощности для современных источников света. Были получены математические модели, погрешность которых не превышает допустимых значений. Рассмотрим зависимости удельной мощности от светотех-

нических характеристик. Светотехнические характеристики рассматриваемых источников света представлены в таблице 1. Таблица актуальных значений, полученная по итогам эксперимента, представлена в таблицах 2 и 3.

Таблица 1

Светотехнические характеристики источников света

| Название светильника | Индекс цветопередачи | Цветовая температура, К | Мощность, Вт | Светоотдача, лм/Вт |
|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------|--------------------|
| SDT+SDGM | 95 | 6200 | 58 | 74,1 |
| National lightning | 98 | 6445 | 72 | 43,6 |

Таблица 2

Значения удельной мощности для источника SDT+SDGM

| $H_p, \text{ м}$ | $A, \text{ м}^2$ | $E, \text{ лк}$ | | | |
|------------------|------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | 400 | 500 | 750 | 1250 |
| 4,9 | 36 | 6,44 | 9,67 | 14,5 | 24,17 |
| | 144 | 9,67 | 12,08 | 16,92 | 22,56 |
| | 576 | 8,06 | 9,97 | 14,4 | 21,15 |
| | 1296 | 7,52 | 8,77 | 13,69 | 22,65 |
| | 2304 | 6,85 | 8,61 | 13,29 | 21,9 |
| 10,9 | 36 | 71,33 | 19,33 | 48,33 | 78,94 |
| | 144 | 35,67 | 16,92 | 22,56 | 40,28 |
| | 576 | 18,58 | 9,97 | 18,33 | 27,39 |
| | 1296 | 15,85 | 8,73 | 16,11 | 23,67 |
| | 2304 | 14,86 | 8,13 | 14,47 | 22,66 |
| 16,9 | 36 | 40,28 | 48,33 | 78,94 | 145 |
| | 144 | 19,74 | 25,78 | 40,28 | 68,07 |
| | 576 | 13,29 | 16,92 | 21,15 | 36,35 |
| | 1296 | 10,02 | 12,89 | 18,8 | 29,09 |
| | 2304 | 9,06 | 11,08 | 16,99 | 25,78 |

Также по итогам эксперимента были получены зависимости удельной мощности отводных параметров. Проанализировав полученные зависимости (рис. 1 и рис. 2) для источника SDT+SDGM было выявлено, что изменение расчетной высоты подвеса источников влияет назначение удельной мощности сильнее, нежели изменение площади освещаемого помещения.

Таблица 3

Значения удельной мощности для источника National lightning

| H_p , м | A, м ² | E, лк | | | |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 400 | 500 | 750 | 1250 |
| 4,9 | 36 | 24 | 30 | 40 | 50 |
| | 144 | 15 | 21 | 28 | 40,5 |
| | 576 | 12,50 | 16,50 | 24,38 | 40,38 |
| | 1296 | 12,44 | 15,11 | 22,22 | 37,50 |
| | 2304 | 11,88 | 14,44 | 21,94 | 36,13 |
| 10,9 | 36 | 30 | 36,67 | 72 | 112 |
| | 144 | 15,17 | 18,67 | 45 | 66 |
| | 576 | 9,19 | 11,50 | 30 | 45,13 |
| | 1296 | 8,06 | 9,78 | 26,83 | 43,50 |
| | 2304 | 7,32 | 9,18 | 24,47 | 40,47 |
| 16,9 | 36 | 60 | 84 | 128 | 220 |
| | 144 | 36 | 45 | 60,50 | 98 |
| | 576 | 21 | 26,25 | 38,25 | 57,75 |
| | 1296 | 17 | 21,11 | 30,67 | 51 |
| | 2304 | 15,09 | 18,75 | 28,09 | 46,31 |

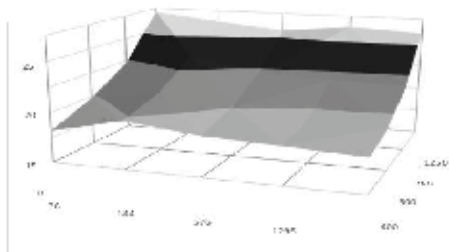


Рис. 1. График зависимости удельной мощности от нормируемой освещенности и площади освещаемого помещения для источника SDT+SDGM

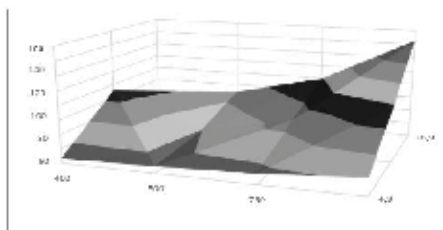


Рис. 2. График зависимости удельной мощности от нормируемой освещенности и расчетной высоты подвеса источников света для источника SDT+SDGM

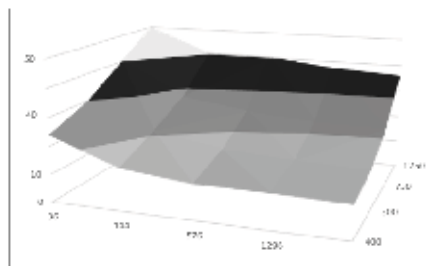


Рис. 3. График зависимости удельной мощности от нормируемой освещенности и площади освещаемого помещения для источника National lightning

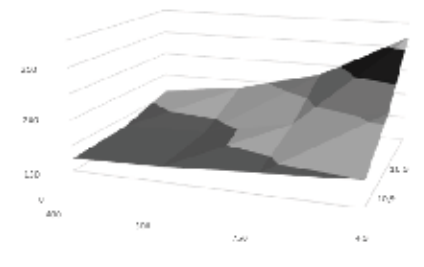


Рис. 4. График зависимости удельной мощности от нормируемой освещенности и расчетной высоты подвеса источников света для источника National lightning

Анализ полученных зависимостей выявил, что индекс цветопередачи и цветовая температура почти не влияют на назначения удельной мощности, а светоотдача и мощность оказывают довольно сильное влияние.

Литература

1. Жук В.Л., Попов А.Н. Прогнозирование потребления электроэнергии предприятием с помощью искусственной нейронной сети // Горизонты образования, 2018. № 20. С. 3–6.
2. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Общеположение: дата введения 1996-01-01. Москва: Стандартинформ, 2017. 135 с.

ВИЭ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Савина Наталья Викторовна, Кустов Даниил Федорович
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», г. Благовещенск, Россия
nataly-savina@mail.ru, kustov.danil_1999@mail.ru

Эффективным средством обеспечения надежности и эффективности децентрализованных систем электроснабжения, доля которых составляет примерно 2/3 страны, являются ВИЭ. Показано современное состояние ВИЭ в мире, приведен сравнительный анализ типов ВИЭ, их выбор, исходя из характеристик района размещения генерации. Рассмотрены возможные области применения ВИЭ в децентрализованных системах электроснабжения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, децентрализованные системы электроснабжения, надежность, эффективность, перспективные технологии, потенциал.

RENEWABLE ENERGY AS A MEANS OF IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF DECENTRALIZED POWER SUPPLY SYSTEMS

Savina Natalja Viktorovna, Kustov Daniil Fedorovich

Renewable energy sources are an effective means of ensuring the reliability and efficiency of decentralized power supply systems, which account for about 2/3 of the country. The current state of renewable energy in the world is shown, a comparative analysis of the types of renewable energy sources, their choice based on the characteristics of the generation location area is given. Possible applications of RES in decentralized power supply systems are considered.

Keywords: renewable energy sources, decentralized power supply systems, reliability, efficiency, promising technologies, potential.

В последнее десятилетие общим трендом для многих стран мира является резкий рост производства электроэнергии с помощью нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Так, за 2013 год доля объектов ВИЭ в новых вводах генерации в мире впервые превысила долю объектов классической генерации. В настоящее время в ряде стран планируется полный переход на ВИЭ. В основном это европейские государства. Например, Дания в 2015 году сгенерировала 42 % всей своей энергии с помощью ветровых турбин, а в 2020 году эта доля должна возрасти до 50 %. Германия в ближайшее время собирается вырабатывать с помощью ВИЭ 100 % потребляемой мощности. Значительных успехов достигли Австрия, Швеция, Португалия, Латвия и Норвегия.

Китай в 2015 году ввел в эксплуатацию 33 ГВт ветроэнергетических мощностей, увеличив установленную мощность ветряных электростанций (ВЭС) до 145 ГВт. В России на данный момент мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии, составляет примерно 2 ГВт.

Рост установленной мощности ВЭС в целом в мире и в странах, занимающих лидирующие позиции по этому типу ВИЭ, показан на рис. 1.

Анализ показал, что в структуре генерации с помощью ВИЭ доминируют фотоэлектрические технологии. Рост установленной мощности фотоэлектрических солнечных электростанций (СЭС) (а) и СЭС концентрированного типа (б) в мире приведен на рис. 2.

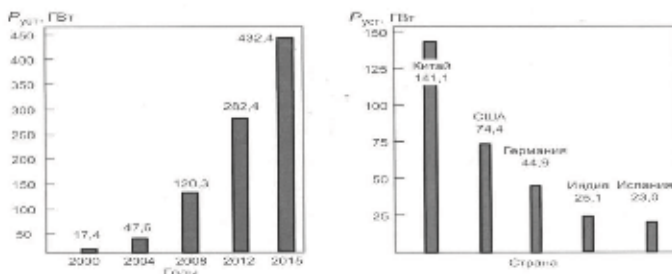


Рис. 1. Графики роста установленной мощности ВЭУ [1]

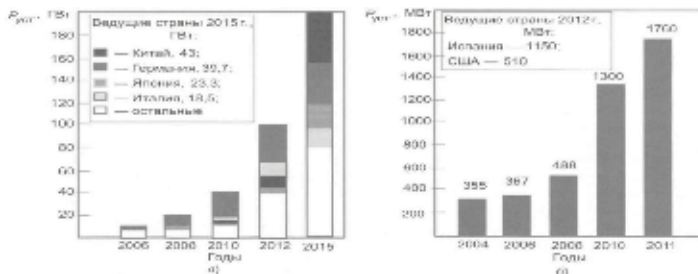


Рис. 2. Рост установленной мощности фотоэлектрических СЭС и СЭС концентрированного типа в мире и в ведущих странах [1]

Исходя из вышесказанного, целесообразно рассмотреть потенциал и возможности ВИЭ для повышения надежности и эффективности децентрализованных систем электроснабжения в России. Для этого

приведем общую характеристику ВИЭ, проанализируем их перспективные технологии, покажем, как определять тип ВИЭ в зависимости от района размещения электростанции и рассмотрим влияние ВИЭ на надежность и эффективность децентрализованных систем электроснабжения, исходя из их характеристик и функциональных особенностей.

Возобновляемые источники энергии – это энергия постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности организмов растительного и животного происхождения. Характерной особенностью возобновляемых источников является возможность восстановления за короткое время. Независимость ВИЭ от топлива обеспечивает энергетическую безопасность страны и стабильность цен на электроэнергию.

Для производства электроэнергии используется энергия ветра, волн и падающей воды, геотермальных источников, биомассы, солнечная энергия рис. 3.

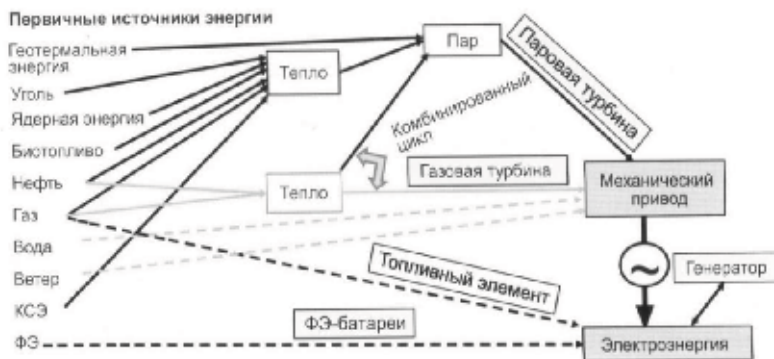


Рис. 3. Разные способы выработки электроэнергии [1]

По видам энергии возобновляемая энергия делится на:

- механическую (энергия ветра и воды);
- лучистую (энергия солнца);
- химическую (энергия в биомассе).

Сравнительный анализ возобновляемых источников энергии по их характеристикам приведен в таблице 1.

На данный момент существует большое количество перспективных технологий возобновляемых источников энергии. В качестве примера рассмотрим перспективные технологии солнечной и ветроэнергетики, так как они нашли наибольшее применение в мире.

Сравнительный анализ возобновляемых источников энергии

| Источник энергии | Тип ВИЭ | КПД | Диапазоны мощностей | Способы выработки |
|------------------|---------------------------|------|------------------------|--|
| Ветер | ВЭС | 44 % | От 0,1 МВт до 7,56 МВт | Энергия ветра с помощью механических приводов преобразуется в электроэнергию |
| Вода | ГЭС (гидроэлектростанция) | 94 % | От 1 МВт до 823 МВт | Энергия воды с помощью механических приводов преобразуется в электроэнергию |
| Солнце | СЭС | 17 % | От 10 Вт до 330 Вт | Энергия солнца с помощью фотоэлементов преобразуется в электроэнергию на основе фотоэлектрического эффекта |
| Биотопливо | БЭС (биоэлектростанция) | 40 % | От 1 Мвт до 15 МВт | Энергия биотоплива в процессе химических реакций преобразуется в электроэнергию |

Разработан новый многофункциональный материал в виде кровельной плитки на фотоэлементах, который обладает всеми необходимыми качествами для герметичной кровли крыш и сочетает в себе встроенные фотоэлементы. Такая черепица содержит капсулы из прозрачного прочного стекла, в которых находятся ультратонкие солнечные батареи. Коэффициент эффективности такой кровельной плитки высокий – до 17,5 %, что является достоинством данной технологии.

В ветровой энергетике произошел резкий технологический скачок, здесь перспективными являются летающие ветряные турбины:

- Makani Airborne Wind Turbine, на 90 % легче традиционных турбин, запускается с использованием электрического двигателя, способна генерировать электричество на низких скоростях ветра [3];

- Altaeros Airborne Wind Turbine использует наполненную гелием оболочку для подъема на большие высоты [4].

Для децентрализованных систем электроснабжения немаловажным является выбор типа ВИЭ. Он осуществляется, исходя из характеристик района размещения, топологии системы электроснабжения, категорийности потребителей. В качестве примера рассмотрим Амурскую область, имеющую малую плотность нагрузки и большой потенциал ВИЭ.

Амурская область располагает значительным гидроэнергетическим потенциалом. По её территории протекает 2745 крупных рек длиной более 10 км, такие как Амур, Зея, Селемджа, Гилюй, Бурея и другие. Валовой гидропотенциал крупных рек Амурской области оценивается в 76 млрд. кВт·ч. Для области характерна высокая прозрачность атмосферы, годовая продолжительность солнечного сияния составляет 2000–3000 часов в год, что обеспечивает высокий гелиопотенциал. Ветропотенциал Амурской области значительно ниже потенциала традиционных районов размещения ветроэнергетических установок в стране и составляет 500...815 кВт/м [2]. К биологическим ресурсам относятся лесные ресурсы и отходы сельского хозяйства, их потенциал достаточно высок, т.к. область имеет сельскохозяйственную направленность в экономике.

Проведенный анализ показал, что перспективным является использование гидроэнергетики и солнечной энергетики. Учитывая малую плотность нагрузки, целесообразно в децентрализованных системах электроснабжения области применять микро- и мини-ГЭС, солнечные электростанции. Так как невозможно использование фотоэлектрических установок в темное время суток для выработки электроэнергии в течение круглых суток целесообразно применять концентраторы солнечной энергии с помощью систем аккумулирования тепла или накопители энергии. Очевидно, что система исключительно с одним видом генерации с использованием ВИЭ также является ненадежной ввиду изменчивости климатических условий. Перспективным направлением для децентрализованных систем электроснабжения является гибкое использование ВИЭ в сочетании с традиционными источниками энергии или накопителями энергии, а также применение гибридных электростанций распределенного типа, сочетающих различные типы ВИЭ, расположенные в узлах электрической сети, определенных по критерию минимума потерь электроэнергии. Такой подход обеспечит надежность и устойчивость, а также эффективность систем электроснабжения.

Применение ВИЭ в децентрализованных системах электроснабжения, занимающих около 60–65 % территории РФ и находящихся преимущественно в северной части страны, актуально. Для таких территорий характерны рассредоточенные потребители малой мощности, электроснабжение которых может обеспечиваться только с помощью децентрализованных источников электроэнергии. Улучшить обеспечение энергией таких потребителей можно с помощью возобновляемых и местных энергоресурсов.

При выработке электрической энергии в объеме 2,54 млрд кВт·ч в год, использование распределенных генерирующих источников на базе использования ВИЭ позволит обеспечить:

- снижение на 15–20 % потерь на транспортировку и распределение электроэнергии за счёт приближения объектов производства электроэнергии к потребителям;
- существенное уменьшение объемов дальнепривозного топлива;
- экономию дизельного топлива порядка 17,5 млн тонн в год;
- уменьшение вредных выбросов в окружающую среду;
- повышение надежности электроснабжения потребителей таких территорий.

Высокие темпы продвижения ВИЭ на энергетические рынки многих стран во многом обусловлены государственной поддержкой, заботой об энергетической и экологической безопасности. В России ВИЭ пока не уделяется должного внимания. Одним из важнейших этапов ускорения практического использования ВИЭ должно стать их применение в децентрализованных системах электроснабжения, как перспективной технологии, направленной на повышение их надежности и эффективности и наглядно показывающей преимущества и особенности использования ВИЭ.

Литература

1. Бухгольц Б.М., Стычински З.А. Smart Grids – основы и технологии энергосистем будущего / пер. с англ: науч. ред. Перевода Ю.В Шаров, П.Ю. Коваленко, К.А. Осинцев; под. Общ.ред. Н.И. Воропая. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 461 с.

2. Санеев Б.Г., Песков В.Е. Топливо-энергетический комплекс Амурской области: современное состояние и перспективы развития / Рос. акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. Иркутск: СО РАН, 2010. 248 с.

3. Воздушные змеи Airborne Wind Turbine как альтернативный источник энергии. Доступно по: URL: <https://www.yaprofi.net/airborne-wind-turbine/>. Ссылка активна на 17.12.2020.

4. Компания Altaeros Energies испытала ветряной генератор. Доступно по: URL: <https://texnomaniya.ru/technology/kompaniya-Altaeros-Energies-ispitala-vetryanoi-generator.html>. Ссылка активна на 17.12.2020.

РАЗРАБОТКА МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Федосеева Виктория Павловна, Сайкин Михаил Сергеевич
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина», г. Иваново, Россия
Wikelodium@yandex.ru, saikinms@mail.ru

В работе представлены разработки конструкций магнитожидкостных герметизаторов и магнитожидкостных виброметров для энергетического оборудования. Приведены эксплуатационные характеристики этих устройств и примеры их внедрения на энергетическом оборудовании различного назначения

Ключевые слова: магнитная жидкость, магнитожидкостный герметизатор, постоянный магнит, магнитожидкостный виброметр, чувствительный элемент.

DEVELOPMENT OF MAGNETIC FLUID DEVICES FOR ENERGY EQUIPMENT

Fedoseeva Victoria Pavlovna, Saikin Mikhail Sergeevich

The work presents the development of designs of magnetic-liquid hermetic seals and magnetic-liquid vibrometers for power equipment. The operational characteristics of these devices and examples of their implementation on power equipment for various purposes are given.

Keywords: magnetic fluid, magnetic-fluid seals, permanent magnet, magnetic-fluid vibrometer, sensitive element.

Успехи в области создания магнитных жидкостей с различными физико-химическими свойствами позволили разработать высокоэффективные устройства для решения широкого круга технических задач.

К таким устройствам относятся магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ). Они предназначены для уплотнения валов, совершающих вращательное или возвратно-вращательное движение между средами с перепадом давлений или средами, содержащими различные вещества, для предотвращения их перемешивания. Герметизируемой средой может являться вакуум с различной степенью разрежения, инертные газы, пары и жидкости [1].

По своему принципу действия магнитожидкостный герметизатор представляет собой бесконтактное щелевое уплотнение. Конструкция магнитопровода МЖГ представлена на рисунке 1. Магнитная жидкость (МЖ) 1 в рабочем зазоре δ удерживается пондеромоторной силой, которая возникает при взаимодействии магнитного момента единичного объёма МЖ с неоднородным магнитным полем.

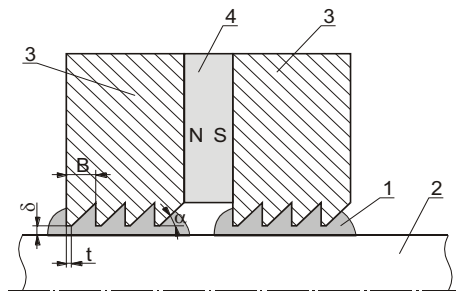


Рис.1. Магнитопровод МЖГ

Для создания неоднородного магнитного поля в рабочем зазоре δ на обращённых к валу 2 цилиндрических полюсных приставках 3 выполнены зубцы. Источником магнитного поля являются постоянные магниты, изготовленные из редкоземельных металлов с высокими энергетическими характеристиками.

Одной из задач герметизации вращающихся валов энергетического оборудования была разработка МЖГ для валов газодинамических контуров лазеров на диаметры от 40 до 170 мм и их внедрение на НПО «Астрофизика». Благодаря этому удалось перенести приводной двигатель вентилятора в атмосферную часть, улучшив эксплуатационные показатели и надёжность всей системы в целом. МЖГ имели следующие технические характеристики: окружная скорость на поверхности вала – 15 м/с, критический перепад давлений – 0,3 МПа, наработка на отказ не менее 5 тыс. часов, срок службы – 40 тыс. часов [1].

Другой задачей была разработка и внедрение магнитожидкостного герметизатора для уплотнения вала криогенного турбогенератора на НПО «Гелиймаш». Внедрение МЖГ значительно снизило массогабаритные параметры оборудования за счёт замены масляных уплотнений, которые требовали специальных масляных и охлаждающих систем, повысить надёжность и эффективность и уменьшить собственное энергопотребление систем герметизации.

Применение магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ) позволило полностью исключить проникновение воздуха в систему охлаждения гидрогенераторов высокой мощности и предотвратило коррозию металлических узлов [2].

Система охлаждения с использованием МЖГ была разработана для гидрогенератора СВ 1140/28-36 УХЛ4 Рогунской ГЭС мощностью 600 МВт, на диаметр уплотняемого вала 300 мм, имеющего скорость вращения 200 об/мин.

Конструкция МЖГ была разработана СКТБ «Полнос» и ПО «Урал-электротяжмаш» (рис. 2) [3]. Представленная конструкция герметизатора обеспечивает его работоспособность при осевых и радиальных перемещениях вала до $\pm 1,5$ мм.

МЖГ представляет собой упорный подшипник, состоящий из колец 1 и 2 изготовленных из магнитопроводного материала. С внутренней стороны кольца 1 установлен наборный постоянный магнит 3, состоящий из отдельных прямоугольных пластин к которым примыкают полюсные приставки 4 и 5, одна из которых герметично соединена гибким элементом 6 с корпусом 7 с помощью кольцевой шайбы 8 и болтов 9. На цилиндрической поверхности кольца 1, обращённой к корпусу 7, выполнен выступ 10, который входит в проточку 11, в корпусе 7. Между кольцами 1 и 2 предусмотрен технологический зазор Δ . Для предотвращения выхода кольца 1 из корпуса 7 служит ограничительное кольцо 12.

Полюсная приставка 5 образует рабочий зазор δ с магнитным кольцом 2, герметично соединённый гибким элементом 13 с валом 14 с помощью колёсных шайб 15 и болтов 16. Для создания градиента магнитной индукции в рабочем зазоре на полюсной приставке выполнены зубцы. Величина рабочего δ и технологического Δ зазоров гарантируется телами качения 17, расположенными между обоями 18, которые изготовлены из сталей с высокой твёрдостью и износостойкостью. Тела качения 17 расположены в сепараторе 19. Кольцевая вставка 20 изготовлена из немагнитопроводного материала и предназначена для уменьшения потока рассеяния, проходящего через тела качения 17.

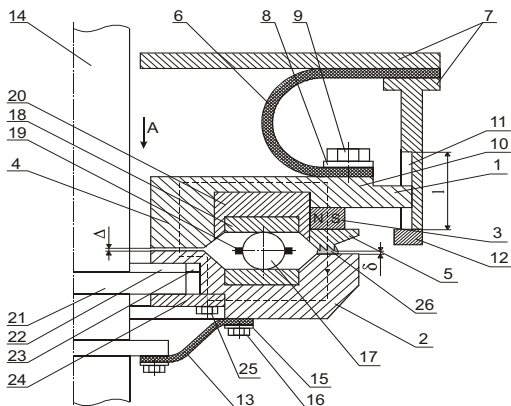


Рис. 2. МЖГ с компенсацией осевых и радиальных перемещений вала водоприёмника гидрогенератора

На валу 14 выполнен кольцевой буртик 21, с выступом 22, входящий в проточку 23 с аналогичным профилем в кольце 2. Ограничительное кольцо 24 служит для предотвращения выхода буртика 21 из проточки 23. Оно крепится к кольцу 2 винтами 25.

Вращение вала 14 сопровождается вращением колец 2 и 1 с наборным постоянным магнитом 3 и полюсными приставками 4 и 5. Перемещение происходит вдоль проточки 11. Гибкий элемент 6, предназначен для обеспечения герметизации со стороны корпуса 7 и полюсной приставки 4 с помощью кольцевой шайбы 8 и болтов 9.

При осевых перемещениях вала 14 не меняется расположение колец 12 друг относительно друга и не происходит уноса МЖ 26 из рабочего зазора δ . Величина рабочего зазора δ остаётся неизменной и гарантируется телами качения 17.

Энергетическое оборудование в процессе эксплуатации подвержено действию вибраций различной частоты и амплитуды. Для диагностики вибраций энергетического оборудования предлагается использовать магнитожидкостные виброметры (МЖВ), принцип действия которых заключается в преобразовании скорости перемещения чувствительного элемента в величину ЭДС, возникающую в измерительной обмотке [4, 5]. В качестве чувствительного элемента используется кольцевой постоянный магнит. Частота ЭДС в измерительной обмотке пропорциональна частоте вибраций.

За последнее время разработаны новые конструкции МЖВ, благодаря которым удалось значительно расширить области применения для вибродиагностики энергетического оборудования и упростить их обслуживание.

Отличие новых конструкций МЖВ заключается в том, что чувствительный элемент 1 расположен с внешней стороны немагнито-проводного корпуса 2, который крепится к основанию 3, в форме диска (рис. 3) [6]. С другой стороны корпуса расположена крышка 4 с отверстием 5.

Измерительная обмотка 6 расположена на катушке 7 внутри корпуса. Чувствительный элемент 1 ориентирован одноименными полюсами к кольцевому магниту 8, который расположен в крышке 4 и имеет возможность перемещения в осевом направлении. За счёт этого достигается возможность настройки МЖВ на разные чувствительности измерений, изменяя расстояние между кольцевыми постоянными магнитами 8 и 9.

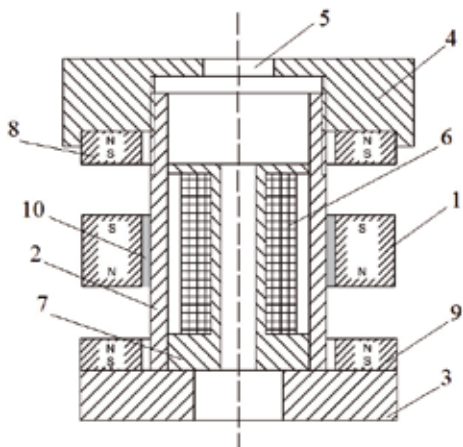


Рис.3. Магнитожидкостный виброметр с внешним расположением чувствительного элемента

Магнитная жидкость 10 удерживается пондеромоторной силой в зазоре между чувствительным элементом и цилиндрической частью корпуса, обеспечивая его устойчивую левитацию. При этом чувствительный элемент может перемещаться вдоль оси цилиндрической части корпуса 2 с минимальной силой трения, что повышает чувствительность измерений при вибрации энергетического оборудования.

Основным преимуществом этой конструкции МЖВ является возможность проведения дозаправки устройства без его демонтажа с действующего оборудования, а также расширение диапазона настроек его эксплуатационных параметров.

Магнитожидкостные виброметры имеют следующие эксплуатационные характеристики:

- частотный диапазон, Гц: 4–5000;
- чувствительность, мВ/g: свыше 500;
- диапазон ускорений, g: 0,2-300;
- диапазон температур, °C: ± 60.

Контроль параметров вибраций проводится при диагностике состояния гидро- и турбогенераторов электрических станций, лопаток газовых турбин, опор ЛЭП в районах с повышенной сейсмической активностью, электродвигателей собственных нужд электрических станций, перекачивающих насосов.

Литература

1. Михалёв Ю.О., Орлов Д.В., Лысенков С.Г. и др. Практическое применение магнитожидкостных уплотнений, разработанных в СКТБ «Полус» // В сборнике 8-я Международная конференция по магнитным жидкостям. Сборник научных трудов, 1998 г. С. 201–203.

2. Сайкин М.С., Кременчугский М.Г., Малышев Н.Г. Магнитожидкостное уплотнение (МЖУ) водоприёмника гидрогенератора // Механизация и автоматизация производства, 1990. № 4. С. 25.

3. Сайкин М.С., Малышев Н.Г., Смирнова О.А. Магнитожидкостное уплотнение // Авторское свидетельство SU N 1610165 A1, 30.11.90. Заявка N 4630987 от 21.11.1988.

4. Федосеева В.П., Сайкин М.С. Разработка магнитожидкостных виброметрических датчиков // В сборнике 19-ой Международной Плесской конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям. Сборник научных трудов. Иваново, 2020. С.262–268.

5. Сайкин М.С., Федосеева В.П. Разработка магнитожидкостных датчиков диагностики динамического состояния технических объектов. // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение», 2020. N3 (63). С.83–97.

6. Сайкин М.С., Федосеева В.П. Патент на полезную модель RU 195546 U1 Устройство для измерения вибраций. 31.01.2020. Заявка № 2019127832 от 03.09.2019.

УДК 621.762.2:544.47:620.92

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Фролова Ирина Сергеевна, Ивашутенко Александр Сергеевич,
Сивков Александр Анатольевич, Шаненков Иван Игоревич
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск, Россия
irina_frolova_96@mail.ru, ivashutenko@tpu.ru, sivkovaaa@mail.ru, shanenkovi@tpu.ru

В данной работе приведены результаты исследования фотокаталитической активности ультрадисперсных материалов на основе ZnO, полученного плазмодинамическим методом. В работе исследовались чистый ZnO и смесь ZnO и V_2O_5 . В результате проведенного исследования было установлено, что ультрадисперсный порошок смеси ZnO и V_2O_5 обладает более высокой фотоактивностью по сравнению с чистым ZnO.

Ключевые слова: фотокатализ, фотоэлектрохимическое расщепление воды, фотоэлектрохимическая ячейка, фотоанод, ультрадисперсный оксид цинка, плазмодинамический метод.

STUDY OF PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF ULTRADISPERSED ZINC OXIDES OBTAINED BY THE PLASMODYNAMIC METHOD

Frolova Irina Sergeevna, Ivashutenko Alexandr Sergeevich, Sivkov Alexandr Anatolevich, Shanenkov Ivan Igorevich

This paper presents the results of a study of the photocatalytic activity of ultrafine materials based on ZnO obtained by the plasmodynamic method. Pure ZnO and a mixture of ZnO and Bi₂O₃ were studied. As a result of the study, it was found that the ultrafine powder of a mixture of ZnO and Bi₂O₃ has a higher photoactivity compared to pure ZnO.

Keywords: photocatalysis, photoelectrochemical water splitting, photoelectrochemical cell, photoanode, ultradispersed zinc oxide, plasmodynamic method.

Фотоэлектрохимическое разделение воды является перспективным методом для получения водорода, поскольку данный процесс протекает без выброса парниковых газов, да и вообще без каких-либо токсичных побочных продуктов [1].

Основным принципом фотоэлектрохимического разделения воды является преобразование солнечной энергии в водород путем приложения внешнего воздействия к фоточувствительным материалам, погруженным в электролит [2].

Модифицируя ширину запрещенной зоны фотокатализатора с подходящим материалом, можно улучшить общую эффективность преобразования энергии. Наноматериалы позволяют настраивать ширину запрещенной зоны, контролируя ее размер и морфологию. Во многих исследованиях подчеркивается важность наноструктурированных материалов, их морфологические и кристаллические эффекты при расщеплении воды. Разделение молекулы и транспортировка заряженных частиц является основной проблемой в фотоэлектрохимическом разделении воды. Наноматериалы имеют высокое отношение поверхности к объему, что облегчает разделение заряда и подавляет рекомбинацию электронно-дырочных пар [3].

Среди различных полупроводниковых фотокатализаторов оксид цинка (ZnO) является одним из передовых фотоанодных материалов, применяемых в фотоэлектрохимических ячейках, благодаря его широкой запрещенной зоне, чрезвычайно богатым модификациям структуры, сильной окислительной активности, легким синтезом и нетоксичности [4].

Наноструктуры оксида цинка обладают обширным научно-техническим значением не только благодаря их уникальным физико-химическим свойствам, но и из-за их потенциальных применений во многих коммерческих областях, таких как оптоэлектронные устройства, солнечные элементы, фотокатализ, датчики, антимикробные продукты и биомедицинские технологии.

Физические подходы к изготовлению наноструктур ZnO являются энергоемкими и имеют некоторые практические недостатки, в том числе требуют сложного оборудования, которое использует различные контролирующие параметры, такие как высокий вакуум, инертная атмосфера, и высокую продолжительность. Кроме того, трудно легировать оксид различными металлами [5]. Данные недостатки можно избежать путем синтеза материала на коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ) [6], имеющем такие преимущества как малая продолжительность процесса синтеза и простота легирования исходного материала.

Для исследования фотокаталитической активности материалов использовалась классическая трехэлектродная система. Данная система имеет в своем составе: блок подачи света с ксеноновой лампой ДСКШ-250 и сервоприводом с заслонкой; потенциостат; стеклянная емкость (ячейка), разделенная протообменной мембраной; система электродов, включающая рабочий электрод с исследуемым материалом, платиновый противоэлектрод, электрод сравнения Ag/AgCl; ПК со специализированным программным обеспечением. Емкость для электрохимической ячейки изготовлена из кварцевого стекла, которое способно пропускать свет в широком частотном диапазоне, включая и ультрафиолетовый. Сосуд включает в себя две составные части, соединенные патрубком с протонообменной мембраной (Nafion 117, Sigma-Aldrich, Германия).

Электролит, используемый в данной работе – это 0,5 М водный раствор Na_2SO_4 , дегазированный инертным газом (азотом) в течение 10 минут.

Нанесение оксида цинка на рабочий фотоанод происходило методом электрохимического осаждения на образцы из FTO-стекла в растворе, состоящем из 50 мл ацетона, 0,1 г исследуемого материала и 2 шариков йодина.

В ходе проведения экспериментальных исследований были получены следующие результаты. На рисунке 1 представлена вольтамперная характеристика при циклической подаче света на исследуемый образец.

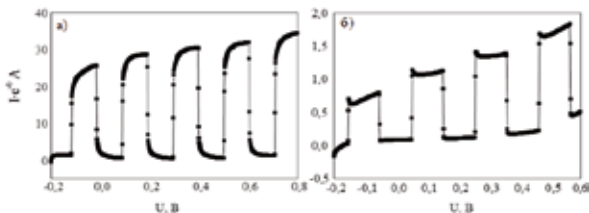


Рис. 1. Характеристика LSV с переменной подачей света: а – образец с чистым ZnO, б – образец ZnO + Bi₂O₃

При облучении светом образца возникает фототок, который увеличивается при увеличении приложенной разности потенциалов. Данный процесс является вполне закономерным и оптимальным диапазоном напряжений для проведения фотокаталитического расщепления воды в данном случае является 0,5–1 В. Дальнейшее увеличение напряжения нецелесообразно, так как КПД процесса значительно снижается и эксперимент выходит в область электрокатализа.

На рисунке 2 приведена зависимость тока от времени при приложенной разности потенциалов 0,5 В. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

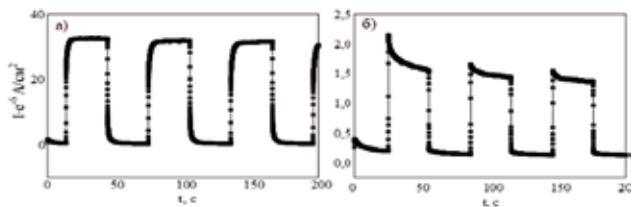


Рис. 2. Характеристика $I(t)$: а – образец с чистым ZnO, б – образец ZnO + Bi₂O₃

Таблица 1

Результаты эксперимента при $U = 0,5 \text{ В}$

| Исследуемый образец | ZnO | ZnO + Bi ₂ O ₃ |
|--------------------------|-----|--------------------------------------|
| Значение фототока I, мкА | 1,5 | 34 |

На основании полученных данных можно сделать общий вывод, что все образцы обладают свойствами фотокатализатора. При облучении фотоанода солнечным светом возникает характерный фототок. Для порошка полученного плазмодинамическим методом для чистого оксида цинка эта величина составляет 1,5 мкА, при этом для легированного

оксидом висмута она составила – 34 мкА. На основании данного результата можно сказать, что легирование исходного материала дает действительно положительный эффект, и в данном случае, на примере материалов на основе оксида цинка, эффект составил величину, превосходящую в 23 раза в сравнении с чистым ZnO.

Литература

1. Prasad Prakash Patel, Oleg I. Velikokhatnyi, Shrinath D. Ghadge Electrochemically active and robust cobalt doped copper phosphosulfide electrocatalysts for hydrogen evolution reaction in electrolytic and photoelectrochemical water splitting. International Journal of Hydrogen Energy, 2018. № 16. Pp. 7855–7871.

2. Josny Joy, Jinu Mathew, Soney C. George. Nanomaterials for photoelectrochemical water splitting – review. International Journal of Hydrogen Energy, 2018. № 10. Pp. 4804–4817.

3. Yaping Hu, Xiaoqin Yan, Yousong Gu, et al. Large-scale patterned ZnO nanorod arrays for efficient photoelectrochemical water splitting. Applied Surface Science, 2015. Pp.122–127.

4. Han Z., Wei L., Zhang Z. Visible-light photocatalytic application of hierarchical Au-ZnO flower-rod heterostructures via surface plasmon resonance // Plasmonics, 2013. P. 1193–1202.

5. Vishnukumar P., Vivekanandhan S., Misra M. Recent advances and emerging opportunities in phytochemical synthesis of ZnO nanostructures // Materials Science in Semiconductor Processing, 2018. P. 143–161.

6. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Колганова Ю.Л. Патент 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. 6с.

УДК 681.51

АНАЛИЗ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ПРИ ПОМОЩИ КВАДРАКОПТЕРА НА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕЕ

Шевченко Светлана Витальевна, Шандрикова Дарья Сергеевна,
Ахмедова Ольга Олеговна

ФГБОУ ВО Камышинский технологический институт (филиал) «Волгоградский
государственный технический университет», г. Волгоград, Россия
dshandrikova@mail.ru, desdee-0793@mail.ru, ahmedova-olga@mail.ru

Отслеживание воздушных линий при помощи, летательного аппарата (квадрокоптеры), питаемого при помощи солнечных батарей.

Ключевые слова: квадрокоптера на солнечной батарее, воздушная линия, обслуживание ВЛ, солнечная батарея, проблемы обслуживания ВЛ, анализ воздушной линии.

AIRLINE ANALYSIS WITH A SOLAR QUADROCOPTER

Shevchenko Svetlana Vitalievna, Shandrikova Daria Sergeevna, Akhmedova Olga Olegovna

Tracking of overhead lines with the help of an aircraft (quadcopters) powered by solar panels.

Keywords: quadcopter on a solar battery, overhead line, overhead line maintenance, solar battery, overhead line maintenance problems, overhead line analysis.

Отслеживание и диагностика воздушных линий электропередач должны быть проблемно-ориентированы и достоверны.

Техническое обслуживание воздушных линий электропередачи включает проведение осмотров, выполнение профилактических проверок и измерений устранение мелких неисправностей. Осмотры подразделяются на периодические и внеочередные.

Из года в год идут разработки и усовершенствования безопасности проверки и обслуживания линий электропередач. Необходимо разработать проект летательного устройства (на базе конвертоплана) с камерой и тепловизором, работающего при помощи солнечной батареи.

В настоящее время один из самых прогрессивных методов упрощения нахождения повреждения линии для обслуживающего персонала – это установка указателей. Для этого персоналу требуется объехать точки разветвлений, обойти все участки на линии. Кроме того, существуют случаи замыкания на земле, например, падение провода на землю, что создает весьма опасную ситуацию для жизни людей и животных. При нынешнем развитии технологий допущение гибели людей нужно свести к минимуму. Это изобретение поможет многократно ускорить и обезопасить процесс нахождения повреждений на воздушной линии.

Наша идея состоит в том, чтобы использовать, как источник энергии – энергию солнца. Для обнаружения места повреждения (например, обрыва провода, падения на ВЛ посторонних предметов...), контроля изоляторов (загрязнения, разрушения...), гололедообразование. Мы хотим разместить камеру и тепловизор или какой-либо другой датчик на квадрокоптер.

Суть нашей разработки состоит в том, чтобы при помощи квадрокоптера, питаемого от солнечной энергии, исследовать на предмет повреждений.



Рис. 1. Квадрокоптер на солнечной батарее

Обычно наземное обследование труднодоступных участков ЛЭП занимает несколько дней, а может растянуться и на недели. Квадрокоптер сокращает время обследования до нескольких часов. В среднем, затраты на мониторинг воздушных ЛЭП с применением квадрокоптера обходятся в 6 раз дешевле, чем наземные методы осмотра. При этом время обследования 1 тыс. км ЛЭП сокращается на 58 дней.

Погодные условия: влажность, снег, гололед, повышенные и пониженные температуры и прочее, часто затрудняют обследование ВЛ на участках.



Рис. 2. Обслуживание ВЛ при тяжелых погодных условиях



Рис. 3. Солнечная батарея



Рис. 4. Летательный аппарат на солнечной батарее

Анализ воздушной линии при помощи квадрокоптера на солнечной батарее основан на регистрации и анализе напряженности магнитного поля, возникающих в зонах концентрации продольных и поперечных напряжений, в зонах пластической деформации, изменения структуры металла на участках предразрушения и разрушения металла. Целью метода является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за воздушными линиями.

Почему именно солнечные батареи?

Солнечные батареи – это наиболее экономичный, дешевый и инновационный способ питания, благодаря которому, устройство может долгое время работать без подзарядки аккумулятора.

Из этого мы можем сделать вывод, что наша идея значительно облегчит обслуживание воздушной линии. Автоматизация процесса мониторинга ЛЭП позволит без участия оператора получить уникальную фото- и видеoinформацию, в кратчайшие сроки оценить и проанализировать общее состояние линейных объектов энергетической инфраструктуры, а впоследствии – прогнозировать и моделировать природные воздействия на линии, определять дефекты, отклонения проводов и изоляции от допустимых норм.

Литература

1. Доступно по: URL: <https://habr.com/ru/post/424795/>.
2. Доступно по: URL: https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Ffelectricalschool.info%2Fmain%2Fekspluat%2F406-ustrojstva-dlja-opredelenija-mest.html&cc_key.
3. Доступно по: <http://away.vk.com/away.php>.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

| | |
|--|----|
| <i>Аминов Р.З., Ларин Е.А., Гариевский М.В.</i> XV Международная научно-техническая конференция «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов» | 3 |
| <i>Ахметова И.Г., Иванова В.Р., Роженцова Н.В.</i> II Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» | 6 |
| <i>Аманова Г.А., Денисова А.Р.</i> Изучение влияния качества электроэнергии на функционирование промышленного оборудования | 10 |
| <i>Андреев А.А.</i> Диагностика однофазных замыканий на землю в кабельных линиях 10 кВ при объединении секций на параллельную работу. | 15 |
| <i>Даутов Р.Р.</i> Влияние высших гармоник на бытовое оборудование и способы их снижения. | 19 |
| <i>Денисова А.Р., Роженцова Н.В., Афонина Н.К., Галютудинова Л.Ю., Басова Т.Г.</i> Энергосбережение в муниципальных образованиях. | 22 |
| <i>Калинин А.Е.</i> Техноценологический подход при анализе структуры электропотребления телекоммуникационного предприятия. | 27 |
| <i>Калинин А.Е.</i> Ранговый анализ электропотребления объектов техноценоза телекоммуникационного предприятия. | 31 |
| <i>Мухарлямов Б.М., Шириев Р.Р.</i> Компенсация реактивной мощности с учетом генерации высоких гармоник от внутренней и внешней нелинейной нагрузки. | 38 |
| <i>Павличенко И.А., Белицын И.В., Пестов М.И.</i> Оценка строительства линии электропередачи с использованием провода нового поколения. | 43 |
| <i>Панова Е.А.</i> Комбинированная схема замещения одноцепной ЛЭП | 48 |
| <i>Петров А.С., Кошарная Ю.В.</i> Проблемы расчета электрических нагрузок при комплексной реновации жилых районов. | 52 |
| <i>Полюянович Н.К., Азаров Н.В., Дубяго М.Н., Огреничев А.В.</i> Оценка прогнозирования термических процессов в силовых кабельных сетях | 58 |
| <i>Попов А.Н., Тюрина Н.А.</i> Непрерывный мониторинг фактического состояния элементов конструкции в ЛЭП с помощью устройства стационарного термографирования. | 64 |

| | |
|---|-----|
| <i>Прокушева Е.Е., Толстихина Л.В.</i> Моделирование цифровых релейных защит в имитационной среде Matlab/Simulink. | 67 |
| <i>Резаева М.А., Фомина И.А.</i> Анализ грозоупорности воздушных линий электропередачи на композитных опорах в сравнении с воздушными линиями на традиционных опорах. | 73 |
| <i>Рудаков А.И., Киселев И.Н.</i> Анализ способов уменьшения гармонических искажений входного тока преобразователей частоты. | 78 |
| <i>Савина Н.В., Янькова М.А.</i> Перевод электрических сетей на интеллектуальную платформу. | 83 |
| <i>Суворов И.Ф., Рыбакова И.Ю., Иванов А.А., Дейс Д.А., Какауров С.В.</i> Оценка потерь электроэнергии в электрических сетях Забайкальской энергосистемы. | 89 |
| <i>Стиридонов Д.И., Щепкин С.А.</i> Причины возникновения мест повреждений на воздушных линиях электропередач и дистанционные методы их устранения. | 96 |
| <i>Утешева А.А., Корнилов Г.П., Варганова А.В.</i> Разработка алгоритма САПР схем открытых распределительных устройств со сборными шинами подстанций 35 кВ и выше. | 100 |
| <i>Федяй О.В., Бычков А.В., Вахнина В.В.</i> Влияние геомагнитных бурь на работу силовых трансформаторов. | 105 |
| <i>Фетисов Л.В., Маврин Д., Купоросов А.</i> Способы борьбы с высшими гармониками и фазовыми сдвигами на промышленных предприятиях | 109 |
| <i>Харабурова М.Д., Рыжкова Е.Н.</i> К расчету тока замыкания на землю в сетях среднего напряжения. | 115 |
| <i>Челтыбашев И.А., Матюнина Ю.В.</i> Использование ранговых распределений для анализа электропотребления регионов. | 121 |

**Секция 2. ЭНЕРГО- и РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

| | |
|---|-----|
| <i>Абдуллина А.Р., Закирова Н.Ж., Павлов П.П.</i> Исследование методов повышения надежности электроподвижного состава. | 126 |
| <i>Бакайкин Е.А., Михайличенко В.А., Шеметов А.Н.</i> Модернизация схемы электроснабжения современного города на примере Магнитогорска. | 130 |
| <i>Баширов М.Г., Прахов И.В., Бирюков Е.Ю.</i> Разработка схемотехнического решения согласования диапазонов в измерительных цепях датчиков тока и напряжения. | 135 |

| | |
|---|-----|
| <i>Белей В.Ф.</i> Оценка эффективности распределительных трансформаторов. | 139 |
| <i>Венюков М.В.</i> Исследование влияния эксплуатационных факторов на параметры режимов нагружения силового электрооборудования трамваев | 145 |
| <i>Газизова О.В., Бунин А.А.</i> Проблемы поддержания необходимого уровня напряжения цеховой сети в условиях кислородно-конвертерного цеха. | 148 |
| <i>Галеева Р.У., Беляков К.Ю.</i> Влияние климатического фактора на параметры многопроводных линий электропередач. | 154 |
| <i>Денисова А.Р., Исаева О.В., Семенова О.Д.</i> Исследование влияния нелинейных элементов на показатели качества электроэнергии. | 158 |
| <i>Денисова А.Р., Роженцова Н.В., Афонина Н.К., Сафина Г.А., Басова Т.Г.</i> Показатели эффективности использования энергоносителей для организаций бюджетной сферы. | 162 |
| <i>Денисова А.Р., Сафина Г.А., Панов Д.Ю.</i> Анализ энергоэффективности средних общеобразовательных учреждений. | 166 |
| <i>Дронова А.А., Рашевская М.А.</i> Устройства для поддержания качества электроэнергии. | 175 |
| <i>Егорова П.О., Умаров М.Ф.</i> Оптимизация системы электроснабжения терапевтического корпуса БУЗ ВО «Вологодская областная клиническая больница» | 180 |
| <i>Закирова Н.Ж., Павлов П.П.</i> Исследование методов повышения надежности элементов и систем электроподвижного состава в условиях эксплуатации. | 183 |
| <i>Закирова Н.Ж., Снежинская Е.С., Павлов П.П.</i> Методика обнаружения отказов систем элементов электроподвижного состава. | 187 |
| <i>Иванова В.Р., Жукова Ю.В.</i> О цифровой трансформации в сфере энергетики. | 191 |
| <i>Исаев А.С., Фатюшина Е.Ю.</i> Направления адаптации стандартов РФ к международным. | 195 |
| <i>Истопленников М.А., Закирова Н.Ж., Павлов П.П.</i> Характерные отказы электрической цепи электроподвижного состава, методика их обнаружения и устранения. | 200 |
| <i>Калинин А.Е.</i> Сравнительный анализ методов выявления аномального уровня электропотребления. | 203 |
| <i>Конорашиова Ю.Н., Маркина А.М., Новиков И.В., Шалимов А.В.</i> К вопросу о выборе оптимальной конфигурации электрической сети в условиях проведенной реконструкции применительно к району Санкт-Петербургского узла. | 209 |

| | |
|---|-----|
| <i>Лопухова Т.В.</i> Диагностика электрооборудования в цикле его жизни | 214 |
| <i>Роженцова Н.В., Денисова А.Р., Афонина Н.К., Галяутдинова Л.Ю., Басова Т.Г.</i> Проведение энергетических обследований организаций бюджетной сферы. | 221 |
| <i>Рудаков А.И., Пантюхин М.В.</i> Повышение энергоэффективности импульсных генерирующих систем за счет электромагнитного резонанса. | 225 |
| <i>Сидоров А.Е., Абдрашитов Р.Р.</i> Анализ работы систем диагностики для оценки технического состояния высоковольтного электрооборудования. | 230 |
| <i>Тукушаитов Р.Х., Семенова О.Д.</i> Об одном способе подключения «нелинейных» нагрузок для снижения уровня их влияния на качество напряжения электросети. | 236 |
| <i>Швецов А.Д., Севостьянов С.П.</i> Энергосбережение в сфере нежилого фонда. | 240 |

**Секция 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ**

| | |
|--|-----|
| <i>Баширов М.Г., Баширова Э.М., Юсупова И.Г., Мавлекаев Е.Ю., Станков А.В.</i> Разработка автоматизированной установки для исследования изменений эксплуатационных свойств металла энергетического оборудования. | 246 |
| <i>Баширов М.Г., Кислицын Н.А., Акчурин Д.М.</i> Учебный лабораторный комплекс на основе программных и технических средств ПО «ОВЕН» | 251 |
| <i>Баширов М.Г., Прахов И.В., Николаев К.Г., Костиков И.И.</i> Разработка цифрового двойника лабораторного стенда для изучения системы управления, диагностики и защиты теплового объекта. | 256 |
| <i>Баширов М.Г., Попов Н.К., Овчинникова А.Ю.</i> Моделирование частотных характеристик и неисправностей машинных агрегатов с электрическим приводом. | 261 |
| <i>Доманов В.И., Михайлов Э.И.</i> Системы автоматического регулирования гидроагрегата. | 265 |
| <i>Зайнуллин И.И., Филиппов А.Н.</i> Исследование ошибок следящего позиционного электропривода с астатизмом второго порядка при различных видах задающих и возмущающих воздействий. | 271 |

| | |
|---|-----|
| <i>Иванова В.Р., Киселев И.Н.</i> Разработка программы для расчета заземляющих устройств электроустановок на языке DELPHI. | 274 |
| <i>Исхаков Р.Р., Панкова П.В.</i> Тенденция развития искусственного интеллекта в энергетике. | 280 |
| <i>Кондрашова Ю.Н., Маркина А.М., Новиков И.В., Шалимов А.В.</i> Определение начальных значений токов и остаточных напряжений при симметричных коротких замыканиях для потребителей района Санкт-Петербургского узла. | 283 |
| <i>Лукуц И.А., Минх А.В., Щербакова Н.С., Толстихина Л.В.</i> Разработка пользовательского интерфейса программного комплекса режимного тренажера диспетчера. | 289 |
| <i>Мицкевич Р.В., Рубан Н.Ю.</i> Формирование расчетной модели действия автоматики ограничения снижения частоты в энергосистеме | 295 |
| <i>Новокрещенов В.В., Иванов И.Ю.</i> Алгоритм защиты линии с продольной компенсацией. | 301 |
| <i>Панова Е.А., Насибуллин А.Т.</i> Разработка математической модели дифференциальной защиты автотрансформатора в программном комплексе MATLAB. | 305 |
| <i>Рожков В.В., Федотов В.В., Трофименко С.Р.</i> Разработка энергоэффективного комплекса управления пневматическими промышленными роботами. | 310 |
| <i>Сафронов В.Н.</i> Тормозная система двигателей постоянного тока. . . | 316 |
| <i>Семина И.А., Андреева Е.Г., Шихабудинов Ш.М.</i> Имитационное моделирование защиты минимального напряжения синхронного двигателя СТД-1250 в программе MATLABSIMULINK. | 320 |
| <i>Цырук С.А., Тимонин А.С., Добродеев С.Н.</i> Способ защиты человека и оборудования при обрыве PEN-проводника в распределительной сети с системой заземления TN-C-S с помощью вводного разнономинального коммутационного аппарата (ВРКА). . | 327 |
| <i>Федорова В.А., Кириченко В.Ф., Глазырин Г.В.</i> Микропроцессорное устройство для реализации метода ускоренной синхронизации. . . | 334 |
| <i>Филиппов А.Н., Зайнуллин И.И.</i> Настройка следящего позиционного электропривода с астатизмом первого порядка. | 340 |
| <i>Цибизов В.Ю., Кулешова Г.С., Михеев Д.В.</i> Моделирование трехфазного фильтрокомпенсирующего устройства на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента. | 342 |
| <i>Четига А.А., Корытченкова Е.Е., Али Юсеф, Анучин А.С.</i> Разработка алгоритма компенсации теневого эффекта для ветроустановок на базе синхронного генератора с постоянными магнитами. | 349 |

Чумаров С.Г., Герасимов А.С. Особенности применения событийных протоколов для электроэнергетических систем. 355

Секция 4. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СВЕТОТЕХНИКА

Абдуллина Г.Р., Денисова А.Р. Алгоритм управления световым потоком автодиммируемых светодиодных светильников. 360

Альзакаар А.М., Местников Н.П., Алхадж Ф.Х. Разработка и исследование гибридной электростанции КЭ-650 для отдаленных потребителей электроэнергии в условиях севера и Арктики. 365

Альзакаар Ахмад, Алхадж Хассан Фуад, Местников Н.П. Исследование повышения качества электроэнергии при использовании нетрадиционных источников питания. 370

Баширов А.А., Казмирук Л.О., Сандаков В.Д. Применение и автоматизация светодиодного освещения в растениеводстве. 374

Валиева Д.И. Автоматизация освещения парковых зон. 379

Вихров М.Е., Тамаровский А.Е., Кузнецов А.М. Сравнение различных типов электрохимических накопителей энергии в составе источников бесперебойного питания. 383

Гаврилов М.С. Определение эффективного атомного номера рентгеноконтрастных включений по спектральному изображению. 389

Галимова А.А. Системы электроснабжения магистральных автомобильных дорог – основные критерии эффективной работы . . 393

Галимова З.Р., Сандаков В.Д. Магнитострикционный шаговый двигатель. 438

Гельдыева Р.А., Панкова П.В. Имитационное моделирование для анализа и оценки функционирования объекта. 404

Денисова А.Р., Янов Т.А. Исследование воздействия светодиодного освещения на качество электрической энергии. 408

Дубровский Б.В., Вихров М.Е. Использование источников бесперебойного питания в системах электроснабжения 412

Дунаева Т.Ю., Дунаев Ю.В. Технико-экономическое обоснование модернизации системы освещения растений тепличного комплекса ООО «РЭХН» 417

Зиновьев В.В., Бартнев О.А. Моделирование полной ветви вольт-амперной характеристики солнечных фотопреобразователей на основе двухдиодной структуры и W-функции Ламберта. 423

| | |
|--|-----|
| <i>Иванова В.Р., Даутов Р.Р.</i> Обзор систем управления освещением | 430 |
| <i>Исхаков Р.Р., Гусамов Д.И.</i> Необходимые условия и критерии выбора электроподстанции для частного дома. | 434 |
| <i>Купоросов А.В., Маврин Д.Г., Роженцова Н.В.</i> Обзор флотационного способа подготовки сточных вод для применения на промышленных и ливневых очистных сооружениях. | 438 |
| <i>Малькова Я.Ю., Уфа Р.А., Рубан Н.Ю.</i> Решение оптимизационной задачи возобновляемой генерации. | 443 |
| <i>Маркелова О.В., Сандаков В.Д.</i> Интенсификация очистки воздуха помещений посредством внедрения концентратора кислорода в озонатор. | 448 |
| <i>Роженцова Н.В., Афонина Н.К., Савин Н.А.</i> Моделирование и прогнозирование информационных угроз | 452 |
| <i>Рудаков А.И., Емельянов А.Н.</i> Поколения искусственных источников света. | 456 |
| <i>Рудаков А.И., Гиниятуллина И.Н.</i> Перспективы использования гибридных электроустановок на возобновляемых источниках энергии. | 461 |
| <i>Рудаков А.И., Иванова В.Р., Семенов Д.Г.</i> Повышение точности замеров выхода биогаза при его получении методом анаэробного сбраживания отходов животноводства. | 464 |
| <i>Салахутдинов Б.М., Шириев Р.Р.</i> О повышении эффективности солнечных станций | 470 |
| <i>Сарыков Н.С., Шириев Р.Р.</i> Перспективы биогаза в России. | 474 |
| <i>Тюрина Н.А., Грибанов А.А.</i> Экспериментальная оценка взаимосвязи светотехнических параметров современных световых приборов и удельной мощности электрической нагрузки. | 479 |
| <i>Савина Н.В., Кустов Д.Ф.</i> ВИЭ как средство повышения надежности и эффективности децентрализованных систем электроснабжения. | 484 |
| <i>Федосеева В.П., Сайкин М.С.</i> Разработка магнитожидкостных устройств для энергетического оборудования. | 490 |
| <i>Фролова И.С., Ивашутенко А.С., Сивков А.А., Шананков И.И.</i> Исследование фотокаталитической активности ультрадисперсных материалов на основе оксида цинка, полученных плазмодинамическим методом. | 495 |
| <i>Шевченко С.В., Шандрикова Д.С., Ахмедова О.О.</i> Анализ воздушной линии при помощи квадрокоптера на солнечной батарее. | 499 |

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

III ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
Казань, 17–18 марта 2021 года

Материалы конференции

Корректор Иванова В.Р.
Компьютерная верстка Иванова В.Р.
Дизайн обложки Мухаметшина Ю.Ф.

Подписано в печать 15.11.2021 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Объем 29,76 печ.л.
Бумага офсетная. Заказ № 941. Тираж 45 экз.

Отпечатано с готового макета в типографии ООО «ИПФ «Бриг»
г.Казань, ул.Академическая, д.2. Тел./факс: (843) 537-91-63