

3 МАТЕРИАЛЫ МНТК ЭНЕРГИЯ - 2019

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ



ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ-2019

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

2-4 апреля 2019 г.
г. Иваново

ТОМ 3

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина»

Академия электротехнических наук РФ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2019»

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ
(МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ИВАНОВО, 2 – 4 апреля 2019 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 3

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Четырнадцатая всероссийская (международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2019»: материалы конференции. В 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2019. – 134 с.

ISBN 978-5-00062-418-0

ISBN 978-5-00062-414-2

Помещенные в сборник тезисы докладов студентов и аспирантов электроэнергетического факультета Ивановского государственного энергетического университета отражают основные направления научной деятельности кафедр в области электроэнергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами электроэнергетики.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

Заместитель председателя: начальник управления НИРС и ТМ, к.т.н., доцент **Макаров А.В.**

Члены оргкомитета: декан электроэнергетического факультета, к.т.н., доцент **А.Ю. МУРЗИН**, зав. кафедрой «Автоматическое управление электроэнергетическими системами», к.т.н., доцент **В.Д. ЛЕБЕДЕВ**, зав. кафедрой «Теоретические основы электротехники и электротехнологий», д.т.н., доцент **М.Е. ТИХОВ**, заместитель зав. кафедрой «Электрические станции и диагностика электрооборудования», к.т.н., доцент **И.Н. СУЛЫНЕНКОВ**, зав. кафедрой «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика», к.т.н., доцент **С.А. СЛОВЕСНЫЙ**, зав. кафедрой «Электрические системы», к.т.н., доцент **А.Е. АРЖАННИКОВА**.

СЕКЦИЯ 13

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Председатель – к.т.н., доцент **Аржанникова А.Е.**

Секретарь – ст. преподаватель **Кормилицын Д.Н.**

*Е.В. Абрамченко, вед. спец.
(департамент технолог. развития
и инноваций ПАО МРСК
Северо-Запада, г. С.-Петербург)*

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТРЕХФАЗНЫХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

Внедрение интеллектуальных систем управления электрическими сетями (EMS/OMS/DMS), решение задач по оптимизации сети (расстановка коммутационных аппаратов, симметрирующих устройств, средств компенсации реактивной мощности) подразумевают использование расчетных данных о существующих и возможных режимах работы электрических сетей [1]. Такой уровень информационной обеспеченности можно получить только при помощи объективного физико-математического моделирования систем электроснабжения. Используемые в настоящее время однофазные модели трехфазного оборудования не учитывают несимметрию фазных параметров, а применяемые расчетные методы (в основном, метод симметричных составляющих) не предназначены для расчета сложноразветвленных сетей с множественными источниками несимметрии.

Точное и детальное моделирование таких сетей в настоящее время возможно при помощи матричных методов теоретической электротехники, основанных на полных трёхфазных схемах замещения электрических сетей с применением моделей электроустановок – сетевых объектов (ВЛ, КЛ, силовых трансформаторов и автотрансформаторов, объектов генерации и потребителей). При матричном моделировании электрических сетей составляются объективные электрофизические модели основных сетевых объектов, образующих в совокупности схему системы электроснабжения. Таким образом, для внедрения интеллектуальных систем управления электрическими сетями и оптимизации их топологии необходимо применение информационной модели системы электроснабжения на основе трехфазных схем замещения.

Библиографический список

1. **Абрамченко Е.В.** Анализ возможностей внедрения и определение требований к системам управления распределительными сетями и аварийно-восстановительными работами / Е.В. Абрамченко, Н.П. Харитонов // Электроэнергия: передача и распределение. – М.: «ООО Кабель». – 2018. №1(8). – 22-29 с.

В.И. Ионова, студ.;
рук. Д.П. Андрианов, к.т.н., доц.
(ВлГУ, г. Владимир)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАГРЕВА ПРОВОДНИКА НА ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Вопросам эффективности энергосистем в последнее время уделяется повышенное внимание. В этой связи актуальным является анализ существующих режимов электрических сетей с точки зрения их функционирования.

Общеизвестно, что с повышением температуры возрастает сопротивление электрическому току проводящего материала, что равносильно потерям активной мощности.

Результаты расчетов [1] с учетом действующих климатических факторов показывают, что для линий электропередач возможен разогрев проводника до 50-60 °С. Коэффициент потерь мощности от повышения температуры проводника K_T определяется как отношение потерь мощности от повышения температуры ΔP к величине мощности P . Представляя мощность как отношение квадрата напряжения к сопротивлению, а сопротивление – как функцию от температурного коэффициента α и разницы температур ΔT , получаем соотношение

$$K_T = \frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha \Delta T}}.$$

Расчеты (рис. 1), проведенные для меди в качестве проводящего материала ($\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ для диапазона температур 0...150 °С [2]), показывают, что повышение температуры на 30-40 градусов относительно базовой температуры (20 °С) приводит к потерям мощности порядка 10%.

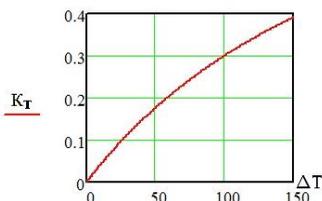


Рис. 1. Зависимость коэффициента потерь мощности от температуры

Библиографический список

1. Петрова Е. В. Применение стандарта CIGRE для экспертной оценки программы расчета потерь электрической энергии с учетом температуры проводников. Омский научный вестник: Электротехника. Энергетика № 2 (120). – Омск, 2013. – 198-202 с.

*А.В. Крицкий, студ., Е.Ю. Петрицев;
рук. А.С. Ведерников, к.т.н., доц.
(ФГБОУВО «СамГТУ», г. Самара)*

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ИНФОРМАЦИОННУЮ И АНАЛИТИЧЕСКУЮ ПОДДЕРЖКУ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА

В энергосистеме в любой момент может возникнуть аварийная ситуация. Диспетчер в ходе ликвидации последствий аварийной ситуации, использует различные режимные мероприятия. Одним из таких мероприятий является ввод графиков временного отключения потребления (далее ГВО). [1]

В настоящее время, у диспетчера есть бумажный или отсканированный вариант ГВО и стандартные возможности ОИК. Это заставляет диспетчера тратить большое количество времени на определение объектов с фактическим объемом ГВО, на определение первичных получателей команд (ППК), осуществляющих ввод ГВО, а также проводить большое количество математических расчётов фактических объемов ГВО. [2]

Целью данной работы – разработка программно-аппаратного комплекса (далее ПАК), позволяющего автоматизировать процесс определения фактических объемов ГВО, и распределения этих объемов по объектам и ППК. В ходе решения поставленной задачи авторами был разработан уникальный алгоритм, который стал основанием ПАК. В алгоритм заложен автоматический расчет фактического наличия заданного объема ГВО и распределение этого объема по времени реализации и ППК. Преимущество программы заключается в его привязке к специфике работы диспетчерского персонала, который работает с большим количеством входящей информации и в то же время ограничен временными рамками для принятия того или иного решения. Тестирование показало, что данный ПАК существенно снижает время реализации ввода ГВО диспетчером, а также исключает возникновения ошибок при проведении расчётов или отдачи команд ППК.

Библиографический список

1. **Правила** предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем. СТО 59012820.29.240.007-2008.
2. **Правила** разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии и использования противоаварийной автоматики. СТО 59012820.29.240.007-2008.

Д.А. Молочков, студ.;
рук. В.Е. Шмелёв, к.т.н., доц.
(ВлГУ, г. Владимир)

ПОЛУАВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРЁХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Проблема расчёта режимов несимметричных трёхфазных электрических цепей, является актуальной для решения ключевых проблем электроэнергетики: уменьшения потерь электроэнергии в топологически сложных электроэнергетических сетях, организации оптимальной релейной защиты, обеспечения качества электроэнергии и других. Особое внимание обращается на применение универсальных матричных методов теоритической электротехники для расчёта электрических сетей.

Так как современные электрические сети являются очень сложными топологическими системами, для анализа режимов работы которых требуется соответствующее алгоритмическое обеспечение. Для выполнения практических расчётов режимов во многих энергетических комплексах до настоящего времени применяют однолинейные (однофазные) схемы замещения [1].

При несимметрии режимов цепи часто применяют метод симметричных составляющих, но при этом требуется составить три схемы замещения для названных составляющих. Однако отсутствие точных методов определения пассивных и активных параметров этих схем при распределённой несимметрии в цепи, приводит к большим погрешностям расчёта, и названный метод не может быть надёжным основанием для решения ключевых проблем современной электроэнергетики.

В данной работе мы используем трёхфазные схемы замещения с применением полуавтоматизированных вычислительных технологий для выполнения практических расчётов режимов цепей, показывая возможность применения современных матричных методов теоретической электротехники. Рассмотрены примеры таких расчётов для фрагментов разветвлённых сетей класса напряжения 0,4 кВ, показана возможность получения более точной и подробной информации по сравнению с применением однолинейных схем замещения.

Библиографический список

1. Шведов Г.В., Сипачёва О.В., Савченко О.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учеб. пособие для вузов. / Шведов Г.В. [и др.] / Под ред. Ю.С. Железко. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013. – 424 с. – ISBN 978-5-383-00832-4.

*В.В. Поповцев, асп.; С.Е. Шендер, студ.;
рук. А.О. Егоров, к.т.н., доц.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНФОГРАФИКИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Электроэнергетика обладает собственной инфраструктурой и является частью единой инфраструктуры всей экономики государства. Для работы с энергообъектами и принятия в их отношении решений часто имеется необходимость в соответствующей картографической проработке, позволяющих решать задачи диспетчерского управления, проектирования, обслуживания энергообъектов и любых других задачах требуется плоская и объёмная визуализация информации [1].

Повсеместное внедрение в экономике и в электроэнергетике цифровых технологий ставит перед разработчиками информационного обеспечения задачи, связанные с разработкой эффективных методов визуализации информации и применением специальных карт, схем и карт-схем, позволяющих вести экспресс-оценку, прогнозирование, анализ и синергетику данных как отдельно, так и системно по данным, которые могут меняться на разных интервалах времени.

Основными документами в электроэнергетике, которые выпускаются и поддерживаются для этих целей, являются карты-схемы и электрические схемы электроэнергетических систем, примеры которых находятся в открытом доступе в Схеме и программе развития ЕЭС России. Однако для работы такого документа недостаточно.



Рис. 1. Примеры информационных слоёв энергосистемы Южной Кореи

В статье рассматриваются и предложены варианты специальной системы инфографики объектов электроэнергетики. Показаны возможности создания информационных слоёв установившихся и переменных параметров технологического функционирования электроэнергетических систем.

Библиографический список

1. Прохорова Е.А. Социально-экономические карты: учеб. пособие, электронное издание сетевого распространения. – М.: «КДУ», Добросвет, 2018. – 389 с.

Н. С. Федюкович, студ.;
рук. А.А. Герасименко, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Распределительные сети являются наиболее массовыми и разветвлёнными. Главная их особенность – непосредственная связь с потребителями электроэнергии, особую нишу среди которых занимают ответственные и социально значимые потребители, ненадлежащее качество электроснабжения которых может привести к экологическим и социальным последствиям. Поэтому необходимо обеспечить достаточную пропускную способность распределительных сетей, которая напрямую влияет на качество электроснабжения потребителей.

В данной работе рассматриваются пути повышения пропускной способности распределительных электрических сетей с учётом классических технических ограничений по нагреванию и потере напряжения, где $P_{\text{н}}$, $P_{\text{т.у}}$ – наибольшая мощность, допустимая по режиму напряжения и термической устойчивости, соответственно [1].

С целью повышения пропускной способности, выполнен анализ эффективности ряда организационных и технических мероприятий:

1. Оптимальная компенсация реактивных нагрузок сети;
2. Увеличение сечения провода на одну стандартную ступень;
3. Применение пунктов автоматического регулирования напряжения, состоящих из вольтодобавочных трансформаторов;
4. Переход на повышенное рабочее напряжение;
5. Изменение конструкции распределительных линий (от традиционной до ЛЭП с самонесущими изолированными проводами со сближёнными фазами) [2, 3].

Применительно к участку действующей распределительной сети в результате введения в эксплуатацию данных мероприятий на основе расчётного анализа установлена возможность значительного повышения пропускной способности сети (вплоть до 20%) в сравнении с исходной (существующей) технической конфигурацией.

Библиографический список

1. Герасименко А.А., В. Т. Федин. Передача и распределение электрической энергии. Изд. 2-е. – Ростов-н/Д.: Феникс, 2008. – 720 с.
2. Зорин В. В. К вопросу о выборе параметров линий электропередачи // Энергетика: экономика, технологии, экология № 2, 2008. – 61-67 с.
3. Повышение пропускной способности и управляемости электропередач переменного тока. / Постолатий В. М. [и др.] // Проблемы региональной энергетики № 3, 2008.

А.А. Юдина, студ.;
рук. Д.Н. Дадонов, к.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫДАЧЕ МОЩНОСТИ В СЕТИ 220 кВ И ВЫШЕ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

В Балаково-Саратовском энергоузле Саратовской энергосистемы существует избыток электрической мощности. Данная проблема возникает из-за расположения на его территории крупных электростанций: Балаковской АЭС (установленная мощность 4000 МВт) и Саратовской ГЭС (установленная мощность 1403 МВт) по состоянию на 01.12.2018. Также в Саратовской энергосистеме предполагается модернизация энергоблоков Балаковской АЭС и гидроагрегатов Саратовской ГЭС, строительство солнечных и ветряных электростанций [1].

В ПК «RastrWin3» были проведены расчеты установившихся электроэнергетических режимов. Исходя из результатов проведенных расчетов, было установлено, что в настоящее время схемы выдачи мощности Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС не удовлетворяют требованиям Правил технологического функционирования электроэнергетических систем [2].

С учетом этого в работе рассмотрено несколько вариантов развития и модернизации электрических сетей 220 кВ и выше объединенной энергосистемы Средней Волги. Для данных вариантов проведены расчеты электроэнергетических режимов и статической устойчивости для нормальной и основных ремонтных схем. В указанных схемах были рассмотрены нормативные возмущения в соответствии с требованиями Методических указаний по устойчивости энергосистем [3] с последующим технико-экономическим сравнением. В результате чего был выбран оптимальный вариант по развитию и модернизации электрических сетей 220 кВ и выше объединенной энергосистемы Средней Волги.

Библиографический список

1. **Схема** и программа развития Единой энергетической системы России на 2018 – 2024 г.г., утвержденная приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 28.02.2018 № 121.
2. **Правила** технологического функционирования электроэнергетических систем, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 13.08.2018 №937.
3. **Требования** к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем», утвержденные приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 03.08.2018 № 630.

Градов Н.А.; Градова Е.С. маг.;
рук. Кормилицын Д.Н.
(ИГЭУ г. Иваново)

ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВЛИЯНИИ СОСТАВА И МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ И НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ УУПК

Повышенные требования к обеспечению и повышению пределов статической и динамической устойчивости и повышение пределов передаваемой мощности ЛЭП СВН необходимо для обеспечения эффективности и надежности функционирования электроэнергетической системы [1]. Комплексное изменение настроечных параметров УУПК, состава и мощности нагрузки существенно влияет на предел статической устойчивости ЭЭС с управляемой ЛЭП.

Целью данной работы является построение областей устойчивости ЭЭС с управляемой ЛЭП при комплексном изменении параметров ЭЭС, таких как состав и мощность нагрузки, и коэффициент регулирования УУПК.

Исследуемая электрическая система состоит из двух электростанций, представленных эквивалентными генераторами, работающих на общую нагрузку, и связанных линией электропередачи, имеющей регулируемое УПК (рис. 1).

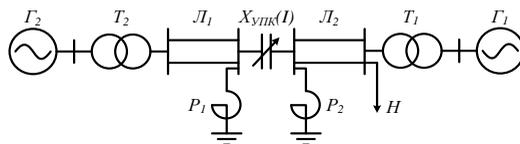


Рис. 1. Исследуемая электрическая схема

В ходе вычислительного эксперимента на разработанной математической модели данной ЭЭС получены предельные значения настроечных параметров АРВ СД генератора G_1 и G_2 при комплексном изменении настроечных параметров УУПК, а также состава и мощности нагрузки.

Библиографический список

1. **И.А. Москвин.** Устойчивость электроэнергетической системы с регулируемой продольной компенсацией: дис... канд. техн. наук : 05.14.02: защищена: утв. / Москвин Илья Александрович. – Иваново, 2014. – 130 с.

В. А. Егоров, маг.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЭП ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОВОДОВ

Значительное увеличение спроса на электроэнергию за последнее десятилетие в ряде регионов РФ требует расширения или обновления распределительных сетей энергоснабжающих предприятий [1]. Поэтому необходимо постоянное развитие либо реконструкция существующих распределительных сетей. При этом одной из актуальных проблем является повышение пропускной способности линий электропередачи.

Известные методы решения данного вопроса (строительство дополнительных ВЛ, замена проводов на большие поперечные сечения, расщепление фазы и повышение напряжения) имеют ощутимые недостатки (необходимость в больших капиталовложениях, в установке дополнительных опор ЛЭП, временные затраты на получение разрешения на строительные работы и т.п.) [2]. Следует рассмотреть возможность применения новых высокотемпературных проводов для повышения пропускной способности ЛЭП.

Целью работы является выполнение сравнительного анализа характеристик высокотемпературных проводов, положительно влияющих на пропускную способность распределительных сетей.

Рассмотрены характеристики современных высокотемпературных проводов мировых марок (провода типа ACCC и ACCR, GZTACSR, AAAC УНС) [3].

При проведении расчета пропускной способности воздушных ЛЭП, было установлено ее увеличение в два раза при применении высокотемпературного провода по сравнению с линиями, выполненными проводами традиционных марок.

Библиографический список

1. **Положение** ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. – М., 2017.
2. **Френкель В. В.** Высокотемпературные провода с малой стрелой провеса // Энергоэксперт № 4, 2017. – 66 – 68 с.
3. **Федоров Н. А.** Энергоэффективные провода нового поколения для высоковольтных воздушных линий электропередачи. Доклад на КПД МРСК Северо-Запада. – М., 2014.

А.Н. Железнов, маг.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ НОМИНАЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРОВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС

При моделировании переходных процессов ЭЭС с целью выявления её устойчивости часто бывает возможным выделить в системе шины бесконечной мощности. Однако в случае автономных электроэнергетических систем (например, бортовые ЭЭС) все генераторы оказываются соизмеримой мощности.

В докладе анализируется зависимость динамической устойчивости ЭЭС от соотношения номинальных мощностей генераторов системы.

Так, например, на ри. 1 показана зависимость времени предельного отключения КЗ по условию сохранения динамической устойчивости от соотношения мощностей генераторов двухмашинной ЭЭС.

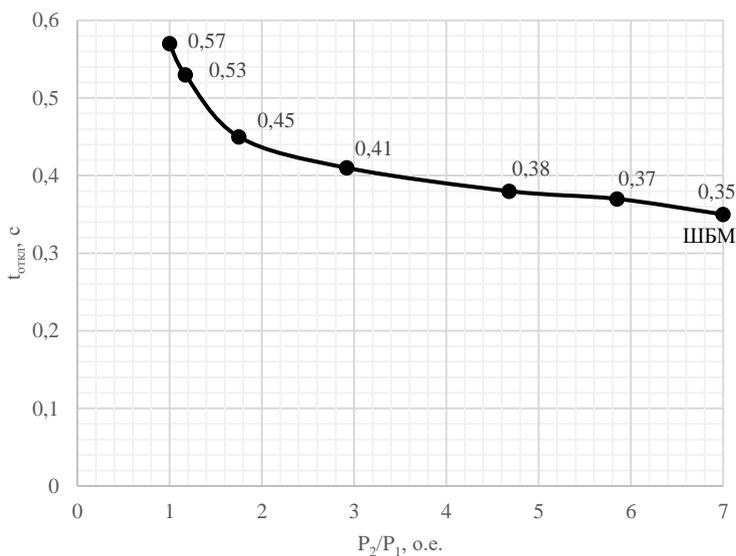


Рис. 1. Зависимость предельного времени отключения КЗ ($t_{откл}$) от соотношения номинальных мощностей генераторов (P_2 и P_1)

В. А. Егоров, маг.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СПЕЦИФИКА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОВОДОВ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Строительство новых линий и модернизация существующих требуют наличия многих составляющих, одна из которых – это внедрение новых современных типов проводов для воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). Данные провода должны соответствовать следующим требованиям: высокая электропроводность; высокая механическая прочность при небольшой погонной массе; малые пластические удлинение и стрелы провеса; стойкость к ветровым и гололедным воздействиям; способность работать при высоких температурах; способность к самодемпфированию; коррозионная стойкость; технологичность изготовления, монтажа и ремонта [1].

Несомненно, что по-прежнему основным проводом для ВЛЭП считается сталеалюминиевый провод марки АС, выпускаемый по ГОСТ 938–80. Однако в последнее время появился ряд новых проводов, обладающих повышенными механическими и электрическими свойствами [2].

Были рассмотрены технические параметры нескольких инновационных проводов, производимых как за границей (Бельгия, Австрия, Япония, США), так и на территории РФ.

При сравнении ряда характеристик, было установлено, что новые провода (марки АССР) обладают меньшей массой, большей прочностью, улучшенной пропускной способностью, термостойкостью и устойчивостью к провисанию по сравнению с существующими аналогами традиционных марок. Однако радиусы изгибов инновационных проводов с композитным сердечником на основе алюминия больше, чем у проводов со стальным сердечником. Эту особенность проводов необходимо учитывать при производстве, монтаже и эксплуатации проводов.

Библиографический список

1. **Курьянов В.Н.** Инновационные высокоэффективные провода для ВЛ. – Журнал «Энергия единой системы», №4 (27), 2016. – 70-78 с.
2. **Макоклюев Б.И.** Особенности и тенденции электропотребления в России. – Журнал «Энергия единой системы», №5 (34), 2017. – 64-76 с.

*А.Н. Железнов, А.А. Киреев, Н.И. Плеханов маг.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

По данным Минэнерго России в соответствии с прогнозом спроса на электрическую энергию по ЕЭС России на период 2018 – 2024 годов среднегодовой прирост электропотребления по ЕЭС России за прогнозный период составит 1,22 %. Это требует увеличения роста генерирующих мощностей в энергосистемах, а как следствие сопровождается увеличением электрических нагрузок и существенным повышением уровней токов короткого замыкания (КЗ) [1].

Традиционные мероприятия по ограничению токов короткого замыкания становятся малоэффективными и приводят к большим затратам. Сверхрасчетные токи КЗ могут привести к серьёзным авариям в энергосистеме. Поэтому создание надёжных и эффективных токоограничивающих устройств (ТОУ) для линий и подстанций в энергосистемах России является актуальным направлением.

В работе рассмотрены основные виды известных быстродействующих ТОУ, снижающие уровень токов КЗ на сравнительно большую величину, по отношению к традиционным устройствам. К ним относятся:

- устройства токоограничения на базе силовой электроники;
- устройства токоограничения на базе быстродействующих коммутационных элементов взрывного действия;
- устройства токоограничения на базе использования высокотемпературных сверхпроводников.

Как показывает анализ, эти устройства имеют различные принцип действия и свои особенности. Однако их объединяют общие свойства, сказывающиеся на эффективном токоограничении, которые можно отнести к основным преимуществам применения этого оборудования.

Таким образом, в работе показано, что данное направление перспективно и позволяет решать важную задачу – ограничения токов короткого замыкания в ЭЭС.

Библиографический список

1. **Схема** и программа развития Единой энергетической системы России на 2018 – 2024 г.г.

А.А. Киреев, маг.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЁДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Энергетические объекты многих стран, в том числе и России, вынуждены эксплуатироваться в условиях высокой влажности и отрицательных температур. Это неизбежно приводит к образованию гололёдно-изморозевых отложений (ГИО), крайне негативно сказывающихся на состоянии энергообъектов.

Цели работы заключались в ознакомлении с существующими решениями проблемы обледенения ЛЭП и в выделении наиболее перспективных направлений в данной области.

Образование гололёда на проводах ЛЭП зависит от множества факторов (нагрузочный ток, влажность и температура воздуха, ветровой режим и т.д.).

Прежде чем бороться с ГИО на многокилометровых линиях, их надо сначала обнаружить. В докладе рассмотрены следующие методики определения наличия гололёда:

- Прогнозирование – основывается на метеорологических данных воздушной среды, окружающей провода, с учетом технических параметров линии электропередачи;
- Взвешивание – оценка степени натяжения провода с помощью датчиков;
- Локационное зондирование – сканирование ВЛ информационными импульсами, способными отражаться от неоднородностей, в частности, гололёда.

По принципу действия все системы борьбы с гололёдом можно разделить на четыре группы: механические, электротермические, физико-химические, электромеханические. Анализ положительных и отрицательных качеств каждого метода позволяет выявить наиболее приоритетные из них.

Н.С. Коротков, студ.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ БУСТЕРА НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «MULTISIM»

Одним из главных требований при эксплуатации сетей 0,4 кВ состоит в поддержании нормативных значений напряжения у потребителя. В настоящее время в данных сетях для регулирования напряжения используют трансформаторы с переключением без возбуждения. Известно, что при таком виде регулирования трансформатор на время переключения отключается от сети, а вместе с ним и потребители электроэнергии, что само по себе уже является большим недостатком данного способа регулирования. Также возникает проблема в сетях, электроснабжение которых осуществляется от трансформаторных подстанций с воздушными линиями большой протяженности, так как напряжение удаленных потребителей не поддерживается на требуемом уровне.

Наиболее действенным способом решения данной проблемы является реконструкция сетей 0,4 кВ. Однако такая мера связана с большими финансовыми затратами и длительными проведениями работ по разукрупнению сетей, замене трансформаторных подстанций и линий электропередач. Поэтому в качестве быстрого решения данной проблемы выступает использование бустера напряжения – вольтодобавочного трансформатора, предназначенного для повышения и стабилизации уровня напряжения удаленных потребителей 0,4 кВ

С помощью программного комплекса «Multsim» проведено моделирование участка трехфазной сети 0,4 кВ. Для исследования влияния бустера на напряжение нагрузки данного участка были рассмотрены следующие варианты схемы:

1. Схема без бустера напряжения
2. Схема с бустером напряжения без регулирования
3. Схема с бустером напряжения и регулированием

Анализ результатов моделирования производился по эпюрам напряжения, построенным по каждому из вариантов схемы.

Анализ показал, что использование бустера напряжения обеспечивает существенное повышение уровней напряжения на нагрузке, однако ведет к снижению напряжения перед бустером из-за роста тока в линии. Последний фактор может негативно повлиять на уровень напряжения потребителей в начале сети – он может стать меньше допустимого. Поэтому при внедрении бустера напряжения важно оценить место его установки.

А.А. Кукушкина, маг.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ЭЭС СОДЕРЖАЩИЕ УПРАВЛЯЕМУЮ РАСПРЕДЕЛЕННУЮ ПРОДОЛЬНУЮ ЕМКОСТНУЮ КОМПЕНСАЦИЮ

Вследствие развития электроэнергетики в настоящее время уделяется большое внимание, на повышение пропускной способности линии электропередачи. Одним из способов реализации этого требования является применение различных управляемых элементов, в том числе и устройств продольной емкостной компенсации [1].

Известны два способа выполнения продольной емкостной компенсации - сосредоточенный и распределенный. Недостатком сосредоточенной компенсации является, во-первых, повышение напряжения на выводах УУПК, что вынуждает применять шунтирующие реакторы, во-вторых это усложняет схему УУПК и увеличивает стоимость его устройства. Если УУПК установить в нескольких местах вдоль линии электропередачи, можно добиться снижения напряжения на выводах УУПК, использование меньшего количества реакторов, а в некоторых случаях можно обойтись вообще без использования реакторов [2]. Расстояние между УУПК выбрано таким образом, чтобы получить наибольшую предельную передаваемую мощность по статической устойчивости и поддерживать напряжение на выводах УУПК в допустимых пределах при различных значениях сопротивления емкости УУПК [2].

Анализ устойчивости ЭЭС, состоящей из двух электрических станций, соединенных линией электропередачи сверхвысокого напряжения, при установке двух УУПК, позволяет увеличить предел передаваемой мощности электропередачи. При этом распределение напряжения вдоль ВЛ становится более равномерным и количество используемых шунтирующих реакторов уменьшается при использовании распределенной емкостной компенсации.

Библиографический список

1. **Электрические** сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы: в 3 т./ под общ. ред. чл.-корр. РАН А.Ф. Дьякова.-М.: НТФ «Энергопроцесс» Корпорации «ЕЭЭК», 2012.
2. **Мартиросян А.А.**, Зотова М.В., Кормилицын Д.Н. Выбор места установки и законов регулирования устройств продольной емкостной компенсации для повышения устойчивости электроэнергетической системы // Вестник ИГЭУ. – 2017. – Вып. 4. – с. 30-36.

В.Р. Рафиков, студ.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЕРИФИКАЦИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ SSST ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЭС

Учебная программа SSST, разработанная на кафедре «Электрические системы», используется при изучении дисциплины «Электромеханические переходные процессы в ЭЭС». Данная программа позволяет проводить исследование статической и динамической устойчивости простейшей ЭЭС с АРВ сильного действия.

Для верификации SSST математическая модель, используемая в данной программе, реализована в среде имитационного моделирования Simulink MATLAB.

В докладе рассматриваются вопросы моделирования и его результаты по проверке корректности работы программы SSST. Представлены кривые, отображающие изменения электромагнитных параметров, а также характер изменения угла ротора СГ при переходных процессах.

Сопоставление результатов моделирования в MATLAB и SSST показывает корректность расчетов, полученных с помощью программы SSST (рис.1.).

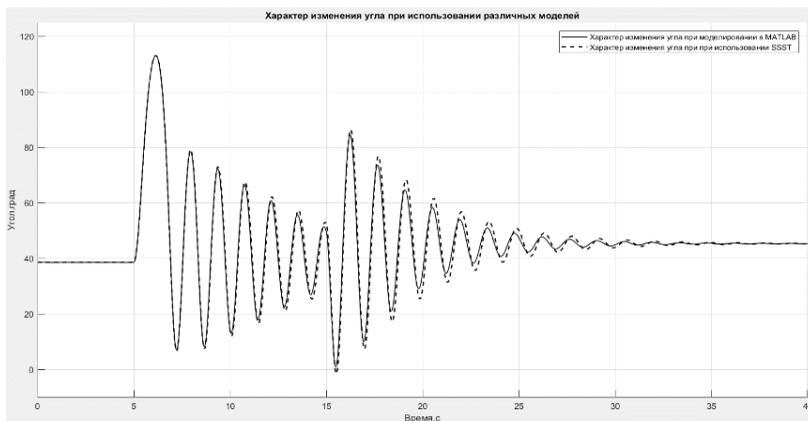


Рис. 1. Графики изменения угла ротора при переходном процессе, полученные с помощью SSST и MATLAB

А.С. Смирнов, маг.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ МАШИН ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЭС

Как известно, переходные процессы в синхронной машине описываются уравнениями Горева-Парка. В качестве переменных они используют потокосцепления обмоток машины. В инженерной практике расчетов режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) широко применяется представление машин по схемам замещения расчетными параметрами, т.е. ЭДС за соответствующими сопротивлениями [1]. При этом не учитывается электромагнитная инерция их статорных цепей.

Однако при полном моделировании процессов синхронной машины в качестве переменных могут также использоваться её расчетные ЭДС, что уменьшает количество решаемых уравнений и позволяет легко определять начальные значения переменных (ЭДС) по расчету установившегося режима ЭЭС.

В докладе показана реализация различных моделей СМ и дается их сравнительный анализ.

Так, например, упрощенное моделирование в записи через ЭДС и через потокосцепления машины даёт различие в токе КЗ около 5%, поскольку в уравнениях через ЭДС не учитывается магнитная связь обмотки возбуждения с демпферным контуром по продольной оси (см. табл. 1).

Таблица 1. Значения переменных в относительных единицах для характерных моментов времени трехфазного КЗ на шинах генератора

Пере- мен-	В записи через потокосцепления					В записи через ЭДС				
	При полном моделировании									
	$t=0$	$t=0,05$	$t=0,5$	$t=1$	$t=\infty$	$t=0$	$t=0,05$	$t=0,5$	$t=1$	$t=\infty$
i_d	0	-9,82	-3,96	-3,66	-1,79	0	-9,82	-3,96	-3,66	-1,79
E_q''	1	0,88	0,67	0,59	0,29	1	0,88	0,67	0,59	0,29
E_q'	1	0,98	0,87	0,76	0,37	1	0,98	0,87	0,76	0,37
При упрощенном моделировании										
i_d	-6,17	-5,42	-4,17	-3,67	-1,79	-6,13	-5,65	-4,09	-3,57	-1,79
E_q''	1	0,87	0,67	0,59	0,29	1	0,92	0,66	0,58	0,29
E_q'	1	0,98	0,87	0,76	0,37	1	0,98	0,85	0,75	0,37

Библиографический список

1. **Братолобов, А.А.** Расчетные параметры синхронных машин: учеб. пособие. –Иваново: ИГЭУ, 2008. –116 с.

*Ю.О. Чуркина, студ.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О СПОСОБАХ НЕДОПУЩЕНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕХОДА В СИСТЕМЕ С УПРАВЛЯЕМОЙ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

Применение управляемой продольной ёмкостной компенсации (УПК) на дальних линиях электропередачи сверхвысокого напряжения позволяет увеличить пропускную способность линий, а, следовательно, повысить надёжность электроэнергетической системы в целом [1]. Однако, исследуемый закон регулирования УПК (1) имеет свои особенности. Так, большая степень компенсации и высокое значение коэффициента $K_{2\text{УПК}}$ характеристики $X_{\text{УПК}}=f(I_{\text{УПК}})$ приводит к возникновению явления резонансного перехода [2].

$$X_{\text{УПК}} = \frac{10^6}{\omega(K_{1\text{УПК}} - K_{2\text{УПК}} \cdot I_{\text{УПК}})} \quad (1)$$

При определенном значении тока через УПК его емкостное сопротивление может полностью скомпенсировать индуктивное сопротивление передачи. В таком случае в системе будет иметь место резонанс напряжений. Чем больше коэффициент регулирования $K_{2\text{УПК}}$, тем при меньшем токе возможно возникновение данного явления. На практике резонансу напряжений предшествует явление резонансного перехода, когда дальнейшее увеличение передаваемой по линии мощности происходит при снижении взаимного угла между векторами напряжений по концам линии, что приводит к потере устойчивости. Возникновение таких режимов недопустимо.

Однако, с помощью соответствующего выбора закона регулирования УПК можно отстроиться от явления резонансного перехода. С этой целью можно либо ограничить максимальное значение коэффициента регулирования $K_{2\text{УПК}}$, либо ограничить максимальное значение сопротивления $X_{\text{УПК}}$. Второй вариант представляется более целесообразным.

Библиографический список

1. **Мартиросян, А. А.** Повышение устойчивости электроэнергетических систем с применением регулируемой продольной компенсации: дис... канд. техн. наук: 05.14.02 : защищена 28.06.09 : утв. 10.09.09 / Мартиросян Акоп Арамаисович. – Иваново, 2009. – 146 с.
2. **Голов, В. П.** Применение регулируемой компенсации линий электропередач / Изв. Вуз. Энергетика №6, – 1978. – 3-8 с.

*Шатохина Д.И. студ.;
рук. Кормилицын Д.Н., ст. преп.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ПО ДЛИНЕ УПРАВЛЯЕМОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

С целью повышения эффективности работы уже существующих линий электропередач, а также для улучшения их пропускной способности, применяют устройства продольной компенсации реактивной мощности (УУПК). Поскольку при продольной компенсации устройства включаются последовательно в цепь переменного тока, то их применение приводит к повышению токов короткого замыкания, а также возникает опасность появления на выводах УПК недопустимо высокого напряжения.

Целью данной работы является определение предельной длительности коротких замыканий при появлении симметричных КЗ в различных точках при установке управляемого устройства продольной компенсации на дальней линии электропередачи сверхвысокого напряжения (ДЛЭП СВН).

В качестве исследуемой рассматривается простейшая электроэнергетическая система, состоящая из эквивалентного блока генератор-трансформатор, подключенного через управляемую линию электропередачи к системе (рис. 1). Устройство УУПК находится в середине линии, на его выводах установлены УШР.

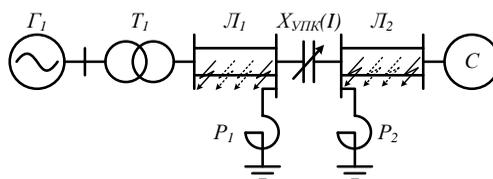


Рис. 1. Исследуемая простейшая электроэнергетическая система

На разработанной на языке программирования C++ математической модели электроэнергетической системы произведен расчет установившихся режимов, а также режимов симметричных коротких замыканий.

Получена предельная длительность КЗ при его возникновении в различных местах управляемой ДЛЭП СВН. Выявлено, что наиболее опасными точками являются шины присоединения линий к другим элементам сети.

П.С. Филипенко, студ.;
рук. Ю.С. Мешкова ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Одной из важнейших задач эксплуатации является экономичное распределение энергетической нагрузки между электростанциями энергосистемы, отдельными их блоками и агрегатами [1].

Целью работы является выбор оптимальной мощности генерации на электростанции для участка электрической сети района нагрузок.

Задачи, решаемые при выборе оптимальных значений активной и реактивной мощности источника питания по критерию минимума потерь активной мощности: изменение режима работы электростанции района нагрузок; оценка коэффициентов загрузки элементов электрической сети; проверка технических ограничений, связанных с обеспечением требований устойчивости.

Исследования проводились на математических моделях, разработанных в программе «Energy» при расчете установившихся режимов. Для оценки устойчивости применялась программа SSST (разработанная на кафедре электрических систем, ИГЭУ).

Для нескольких вариантов исполнения электрической сети (радиальные и кольцевые схемы) были рассмотрены варианты установки различного числа и мощности генераторов на электростанции. При анализе полученных данных было выявлено, что увеличение мощности положительно сказывается на общих показателях потерь в сети – потери в линиях и трансформаторах снижаются.

Единственным пределом по увеличению мощности генерации послужил коэффициент загрузки трансформаторов электростанции, который необходимо держать в пределах нормы, согласно [2].

Оценка статической и динамической устойчивости энергосистемы с выбранной оптимальной мощностью генерации по условию загрузки трансформаторов станции показала, что устойчивость сохраняется.

Библиографический список

1. **Филиппова, Т.А.** Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник для академического бакалавриата / Т. А. Филиппова; Новосиб. гос. техн. ун-т. – М.: Юрайт, 2017. – 293 с.
2. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ-7). – 7-е изд. – М.: Юрайт, 2007. – 399 с.

СЕКЦИЯ 14
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Председатель – к.т.н., профессор Бушуева О.А.

**Секретарь – старший преподаватель
Полкошников Д.А.**

А.И. Андреев, Д.А. Василец, студ.;
рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург)

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ГОРОДОВ

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам энергоэффективности систем электроснабжения. Одной из важных задач является экономия электроэнергии при эксплуатации систем наружного освещения. Особо остро этот вопрос стоит в условиях функционирования таких систем в северных городках полярной ночью. Модернизация систем и инфраструктуры, а также сокращение издержек является реальной возможностью оптимизации бюджетов таких городов.

В ходе проведения исследований выполнен анализ существующих систем наружного освещения, а также выявлены наиболее часто используемые источники света. Исходя из поднятых вопросов, были сформулированы основные направления модернизации систем наружного освещения.

С целью экспериментального подтверждения целесообразности замены ламп ДРЛ на светодиодные и ДНаЗ полученные расчетным путем, была разработана экспериментальная установка, благодаря которой, наглядно продемонстрирована экономическая эффективность при использовании разных типов ламп.

Результаты исследования позволили наглядно продемонстрировать положительный экономический эффект от внедрения различных типов ламп в системы наружного освещения северных городов, однако также выявлена проблема длительного срока окупаемости, связанного с высокой стоимостью энергоэффективных светодиодных светильников.

Библиографический список

1. **Сторожев, С.В., Тишков, А.А.** Система автоматического управления в сетях наружного освещения северных городков. Сборник докладов XI международной научно-технической конференции студ., асп. и молодых ученых «Энергия-2016» в 7 т. Т.3. Иваново: ФГБОУ ВПО "Иван. гос. энерг. ун-т. им. В.И. Ленина", 2016.
2. **Тишков, А.А.** [и др.]. Создание системы контроля состояния изоляции кабельных сетей на объектах МО РФ - Военный инженер / А.А. Тишков, И.В. Колесник, В.Н. Панасюк, – 2017. - №1(3).
3. **Михайлов, А. К.** [и др.]. Системы контроля изоляции в системах электроснабжения с изолированной нейтралью - Технология ЭМС / А. К. Михайлов, Э. Н. Фоминич, О. Ф Глухов, А. А Тишков, 2007. - №3(22).
4. **Вендт, А.В.** [и др.]. Сборник научных трудов «Проблемные вопросы эксплуатации сетей наружного освещения воинских частей» / А.В. Вендт, И.В. Колесник, А.А. Тишков, СПб: Изд. Политех. ун-та, 2015.

*С.Н. Беликов, студ.;
рук. А.Н. Алюнов, к.т.н.
(ВоГУ, г. Вологда)*

СПОСОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ЗАМЕНЫ НЕИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ

В последние годы происходит интенсивное обновление воздушных линий электропередач. Линии с проводами и опорами старого образца, сооруженные проводами марки АС, заменяют новыми магистральями, выполненными на основе самонесущего изолированного провода (СИП) [1]. Для того чтобы в короткий срок и с высокой точностью сделать расчет замены старого оборудования, разработан способ, который не требует установки сложного программного обеспечения, удобен и достаточно прост в использовании. Важно отметить, что учитываются не только характеристики провода, но конструктивные особенности опор ВЛ и их линейная арматура, потери напряжения и мощности в линии [2].

Для реализации данной цели используется программа Microsoft Excel. Она делает расчет доступным, с одной стороны, так как является частью основного пакета Microsoft Office, с другой – не требует установки дополнительного дорогостоящего программного обеспечения, подключения к интернету, и все расчеты могут быть сохранены в удобных, часто используемых, форматах: doc, docx, rtf и pdf.

Способ не уступает в точности сложным и дорогостоящим программам САПР и может быть внедрен в практическую деятельность образовательных учреждений, например, Вологодский государственный университет в качестве вспомогательного инструмента при расчете курсовых и дипломных работ.

Данный способ апробирован. Им рассчитаны потери активной мощности существующей воздушной линии 10 кВ №28 от подстанции «Маега».

Библиографический список

1. **Костин, В. Н.** Электроэнергетические системы и сети: учеб. пособие / В. Н. Костин. – СПб.: Троицкий мост, 2015. – 304 с.
2. **Алюнов, А. Н.** Веб-сервис для энергосбережения в системах электроснабжения / А. Н. Алюнов, О. С. Вяткина // Вузовская наука – региону, 2016. – С. 10-12.

И.М. Газизуллин, студ.;
рук. А.Н. Богданов, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТА ДЛЯ ОБЖИМА ПРОВОДОВ

Существует несколько способов подготовки проводов к соединению. Одним из наиболее популярных методов в электронике является пайка. Соединение этим способом имеет высокую механическую прочность. Другим методом является простая скрутка. Но наибольшую популярность при сборке электрических схем приобрел метод обжима специальными гильзами.

В последнем случае для подготовки проводов можно использовать обжимные клещи. Такие клещи можно разделить на два вида согласно конструкции – пассатижные и диафрагменные. Первые из них более распространенные – они выполняют сдавливание только с двух сторон, но в отличие от пассатижей имеют в губках вырезы специальной формы, которые работают в качестве направляющих. Это позволяет выполнять качественное крепление на жиле провода наконечников. Вторые – могут обжимать гильзы с четырех или шести сторон. За счет полного обхвата ими выполняется более качественный и плотный обжим конца кабеля, а также устройство автоматически подстраивается под любую толщину гильзы.

Обжимные клещи – необходимый инструмент для любого человека, занимающегося электромонтажом. Но когда речь идет о подготовке сотен проводов (например, при сборке шкафов автоматики) более экономически целесообразным становится применение автоматизированных станков. Есть несколько производителей автоматов, способных обжимать провода. Но цена таких устройств достигает нескольких сотен тысяч рублей, и позволить себе их могут только крупные компании.

Нами разрабатывается мобильный автомат, способный обжать провод. Цель работы – создать недорогое компактное устройство, способное в полуавтоматическом режиме обжимать провода различного сечения. Разрабатываемый автомат состоит из нескольких подсистем – подбор и подготовка гильз, подготовка провода и введение его в гильзу, обжим.

Подсистема подачи гильз позволяет автоматически выбрать гильзу из засыпной чаши и установить ее в нужном положении. Подсистема установки провода – закрепляет гильзу на проводе. Провод должен быть уже зачищен. В основу подсистемы обжима выбрана диафрагменная конструкция. Это позволяет работать с различными диаметрами проводов.

Такой автомат позволит увеличить скорость и качество работы электромонтажников. Первый прототип планируется собрать весной 2019 года. Мною разрабатывается программная часть для данного устройства, позволяющая управлять всеми подсистемами.

А.А. Ищенко, студ.;
рук. А.А. Герасименко, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОБОБЩЁННЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗОК

В докладе представлены результаты обоснования применения обобщённых (типовых) графиков электрических нагрузок (ОГН), полученных на основе факторного анализа [1] по данным статистически представительной выборки режимов электропотребления районной энергосистемы, для моделирования нагрузок, не входящих в указанную генеральную совокупность.

В качестве экспериментальной совокупности использована выборка из 8 схем распределительной сети напряжением 35, 110 кВ размерностью от 2-х до 4 узлов с режимами электропотребления, заданными типовыми отраслевыми графиками активных и реактивных нагрузок [2]. В результате решения проблемы собственных значений применительно к матрице корреляционных моментов (МКМ) для данных сетей приняты первые два собственных числа и соответствующие собственные векторы, отражающие от 82 до 98 % исходные МКМ. Полученные методом главных компонент первые два ортогональных графика нагрузки применительно к каждой схеме восстанавливают исходные ГЭН с относительной ошибкой от 0,63 до 7,3 %, отражая до 96,6 % полной дисперсии исходных нагрузок с теснотой корреляционной связи от 0,65 до 0,99.

Выполнен анализ точности вычисления потерь электрической энергии (ЭЭ). В качестве эталонных приняты потери ЭЭ, рассчитанные путём непосредственного интегрирования (суммирования) потерь мощности, получаемых по данным расчёта установившихся режимов для нагрузок, соответствующих интервалам постоянства графиков электропотребления. Сопоставление результатов расчёта потерь ЭЭ в указанной экспериментальной совокупности, полученных по её ортогональным графикам {ошибка в диапазоне (-0,72; -0,37) %}, с потерями ЭЭ, вычисленными с помощью ОГН статистически представительной совокупности, {ошибка в диапазоне (-0,45; 0,67) %} свидетельствует о статистической устойчивости ОГН и возможности их применения для анализа многорежимности схем, не входящих в обучающую выборку.

Библиографический список

1. Герасименко, А.А., Шульгин, И.В. Стохастический метод расчёта нагрузочных потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях // Электрические станции, 2013, №4. – С. 44 --59.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Изд-е 2-е. Ростов н/Д. Феникс, 2008. – 735 с.

*Е.А. Люханов, С.Е. Шендер, студ.;
рук. А.О. Егоров, к.т.н.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

МОНИТОРИНГ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ

Снижение потерь электроэнергии при её передаче и распределении – одна из приоритетных задач электросетевого комплекса [1]. Её решение связано с повышением качества и достоверности работы измерительных комплексов в системах учёта электроэнергии. Оснащение субъектов рынка электроэнергии системами АИИС КУЭ и использование методов теории оценивания состояния и наблюдаемости позволяют получать расчётные оценки их метрологических характеристик и идентифицировать неисправности в них. Решение этой задачи выполняется на основе задачи энергораспределения [2]. Применяются методы, позволяющие определить систематические и случайные погрешности измерительных комплексов учёта электроэнергии. В экспериментальной энергосистеме выполнен расчёт такой задачи за один месяц, на рис. 1 представлены результаты расчётов для одного измерительного комплекса.

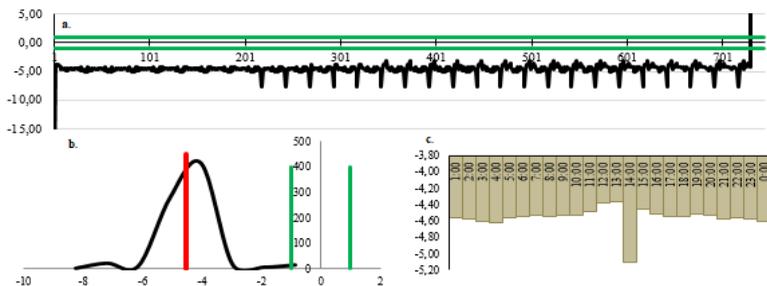


Рис. 1. Пример месячной динамики расчётного класса точности измерительного комплекса, вышедшего за пределы своих нормируемых метрологических характеристик

Библиографический список

1. **Типовая** инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении РД 34.09.101-94 с изменением №1 – М Изд-во НЦ ЭНАС, 2004 г.;
2. **Паздерин, А. В.** Разработка моделей и методов расчета и анализа энергораспределения в электрических сетях: дисс. д-р. техн. наук: 05.14.02 / Паздерин Андрей Владимирович. – Екатеринбург, 2005. – 340 с.

*Р.Е. Первенёнок; Л.П. Кручёнок;
рук. А.Л. Сицко, к.т.н., доц.
(Воен. Акад. Республ. Беларусь, г. Минск)*

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ С КОМПЕНСАЦИЕЙ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время в системах электроснабжения (СЭС) автономных объектов (АО), все более актуальной становится проблема обеспечения требуемого качества электрической энергии. Это связано с ростом количества различного рода нелинейной электромагнитной нагрузки входящую в состав АО. Основной особенностью таких нагрузок - потребление ими не-синусоидального тока.

Наиболее перспективной возможностью обеспечения требуемого качества электрической энергии АО является применение в СЭС параллельных активных фильтров гармоник (АФГ). Принцип работы таких систем заключается в генерации в сеть в точке подключения высших гармоник тока в противофазе с существующими. По своей структуре АФГ состоит из силовой части и системы управления (СУ). В настоящее время предложены десятки методов управления АФГ, но наиболее перспективным является управление с использованием нейронных сетей (НС) [1].

В результате проведенных исследований имитационной модели АФГ с СУ основанной на НС выявлено, что данная система является оптимальной. Разработанная СУ позволяет производить уменьшение высших гармоник в режиме реального времени с меньшим временем задержки по сравнению с остальными методами.

Библиографический список

1. **Аррилага, Дж.** Гармоник в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер.: пер. с англ. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

М.И. Петров, асс.;
рук. П.А. Рашитов, к.т.н, доц., Д.И. Панфилов, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Требования регулирования, стабилизации, симметрирования уровня переменного напряжения наблюдается в различных областях. Решением данных задач занимаются тиристорные регуляторы переменного напряжения, основными элементами которого являются вольтодобавочный трансформатор и тиристорный коммутатор.

При разработке тиристорных регуляторов переменного напряжения особое внимание уделяется количеству уровней регулирования и шагу дискретизации. С целью улучшения данных показателей применяются различные способы, такие как, увеличение количества шунтовых обмоток вольтодобавочного трансформатора, применение специальной схемотехники тиристорного коммутатора или совместное использование данных способов. В практических случаях ряд преимуществ наблюдается при использовании совместного способа построения тиристорного регулятора переменного напряжения. В таком случае различное включение тиристорного коммутатора позволяет обеспечить комбинированные включения обмоток вольтодобавочного трансформатора. При этом необходимо учитывать, что изменение коэффициента трансформации одной обмотки скажется на всех уровнях регулирования, где эта обмотка используется. Поэтому задача обеспечения плавного шага регулирования требует решения.

Область применения тиристорных регуляторов переменного напряжения определяет методику расчета коэффициентов трансформации вольтодобавочного трансформатора и для обеспечения задач плавности регулирования способы их расчета будут различны. С помощью применения функции Given – Minerr математического пакета Mathcad производится расчет коэффициентов трансформации. Данная функция позволяет рассчитать такие коэффициенты трансформации, которые максимально приближены к их идеальному распределению.

Исследование выполнено в рамках прикладного проекта "Разработка и экспериментальная апробация технических решений по созданию автономных полупроводниковых управляющих устройств продольной компенсации для повышения надёжности воздушных линий электропередачи (RFMEFI57417X0140)" с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации.

*И.А. Поплавский, У.М. Ахмадеев, студ.;
рук. А.С. Марченко, ст. препод.
(КГЭУ, г. Казань)*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.

Проблемы снабжения и качества электроэнергии (КЭ) в системах электроснабжения промышленных предприятий и в распределительных сетях различного рода напряжений хорошо изучены и хорошо охарактеризованы в отечественных и зарубежных публикациях. Данные же о показателях качества электроэнергии (ПКЭ), характеризующих несинусоидальность и несимметрию, провалы и колебания напряжений, в магистральных сетях высокого и сверхвысокого напряжения отрывочны и не позволяют составить целостную картину, необходимую для координированной разработки и реализации эффективных мероприятий по обеспечению КЭ в сетях ЕЭС России. Для промышленных предприятий ухудшение качества электроэнергии может привести к выходу из строя электротехнического оборудования, увеличению потерь электроэнергии, сбоем технологических процессов и ухудшению качества продукции. Автоматизированные системы управления электроснабжением (АСУЭ) выполняют функции дистанционного контроля и управления распределением электроэнергии на предприятии. Основной целью их создания является обеспечение бесперебойного, стабильного электроснабжения предприятия за счет: повышения надёжности функционирования энергосистемы предприятия, повышения качества планирования и управлением потреблением электроэнергии. Другими словами, АСУЭ выполняют контроль качества электроэнергии, а это - один из факторов повышения надёжности электроснабжения. Основное предназначение систем АСУЭ – обеспечить эффективное оперативно-диспетчерское управление объектами электроснабжения в нормальных, переходных и аварийных режимах. Мы продемонстрируем автоматизированную систему контроля качества электроэнергии, которая позволяет снимать показания качества электроэнергии согласно ГОСТ и покажем, как с помощью неё можно осуществить процесс электросбережения.

А.Г. Рыбин, маг.;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н.
(ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

Важнейшим звеном в системе обеспечения безопасности мореплавания в РФ являются береговые системы управления движением судов (СУДС). Один из центров Региональная Система Управления Движения Судов Керченского пролива. Важнейшее требование к радиолокационным системам управления движением судов круглосуточная и бесперебойная работа с полным резервированием основного оборудования и бесперебойное снабжение электроэнергией.

Действующая схема электроснабжения [1] одного из удаленных объектов получает питание только от существующей сети «Перегрузочного комплекса», далее идет одна линия на два комплекта радионавигационного оборудования. Это не отвечает требованиям Приказа Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. N 226. При выходе из строя единственного источника бесперебойного питания (ИБП) или кабельной линии, теряет питание полностью все оборудование.

В целях обеспечения надежности электроснабжения [2], выполнения требования Приказа №226, разработаем схему гарантированного электроснабжения с двумя взаиморезервирующимися источниками бесперебойного питания, двумя линиями питания (переключающимися автоматическим выбором резерва) до технологического оборудования с включением в схему статического переключателя нагрузки (для контроля функционирования каждого ИБП). Обеспечим автоматическое управление запуском и остановкой дизель-генераторной установки (ДГУ), ведение контроля и мониторинга технологических и энергетических показателей с отображением на панели оператора.

Схема предусматривает двух лучевое питание всего технологического оборудования и моментальное переключение на другую линию питания, второй ИБП, запуск ведомой ДГУ.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ). Министерство энергетики Российской Федерации. Изд. 7, 2016.
2. **Кудрин, Б.И.** Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 669с.

А.Н. Солодунова, маг.;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь)

СТАТИЧЕСКИЕ СИНХРОННЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ ТИПА СТАТКОМ

Статистические синхронные компенсаторы реактивной мощности типа СТАТКОМ применяют в распределительных сетях с быстропеременными несимметричными нагрузками. Они были разработаны для повышения устойчивости электроэнергетических систем, увеличения пропускной способности системообразующих линий электропередач.

Быстродействие СТАТКОМ характеризуется продолжительностью перехода компенсатора из режима генерации в режим потребления реактивной мощности и составляет 20 мс.

В преобразователях напряжения используют полупроводниковые приборы. К ним относят полностью управляемые тиристоры ГТО с частотным диапазоном коммутации до 300 Гц, малым спадом напряжения в проводящем состоянии по рабочим напряжениям до 2 кВ, транзисторы IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) с частотным диапазоном коммутации до 8 кГц, тиристоры IGCT (Insulated Gate Controlled Thyristor) - управляемые тиристоры с изолированным затвором и транзисторы IEGT (Injection Enhanced Insulated Gate Bipolar Transistor).

В пределах напряжений от 600 В до 1700 В лучшими ключевыми элементами считаются транзисторные модули IGBT, которые обладают следующими достоинствами: высокой устойчивостью к коротким замыканиям, меньшими коммутационными потерями энергии и меньшим временем переключения. К недостаткам относится относительно большое падение напряжения на открытых транзисторах по сравнению с тиристорами различного исполнения.

Таким образом, на сегодня существуют совершенные компенсаторы реактивной мощности, которые можно внедрять в распределительные электрические сети [1].

Библиографический список

1. **Кочкин, В.И., Нечаев, О.П.** Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – Москва: НЦ ЭНАС, 2002. – 248с.

И.А. Чупрова, асп.;
рук. М.Ю. Чукуреев, к.т.н., с.н.с.
(ИСЭ и ЭПС Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар)

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ SMART METERING

Создание интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности) является основой для дальнейшего развития и внедрения в мировую и отечественную энергетику наиболее передовых технологии Smart Grid. Это позволит снизить потери электрической энергии, не связанные с технологическим процессом ее передачи, уменьшить операционные затраты энергосбытовых организаций, обеспечить адресное воздействие на неплательщиков, а также повысить наблюдаемость электросетевого комплекса, что, в конечном итоге, приведет к повышению надежности функционирования ЕЭС.

Для исследования проблемы внедрения интеллектуального учета в энергосистемах северных регионов целесообразно рассмотреть энергосбытовую деятельность. С целью выявления потребностей организаций были сделаны запросы в организации, занимающиеся электроснабжением различных категорий потребителей и эксплуатирующие сети городского и сельского электроснабжения. Были проанализированы особенности внедрения в деятельности гарантирующего поставщика, организации сетевого комплекса, и организации, управляющей ЕНЭС.

Объектом исследования является электрическая распределительная сеть 0,4-10кВ, имеющая нагрузку, характерную для городского населенного пункта, и технические устройства, обеспечивающие информационный обмен и управление энергопотреблением.

При моделировании интеллектуальной распределительной сети предполагается получение данных о состоянии сети с помощью «умных» счетчиков – устройств, определяющих отклонения показателей качества электрической энергии, потребляемую мощность.

Концепция нового приборного учета основывается на принципах:

- измерять все, что необходимо и экономически целесообразно;
- исходная база данных хранится длительное время в точке измерения электроэнергии и соотносится с режимом реального времени;
- взаимосвязь текущих и перспективных тарифных систем с тарифными возможностями конкретных электронных счетчиков;
- физический цифровой интерфейс счетчиков должен относиться к классу международных стандартных.

Программная реализация модели сети будет осуществляться на языке программирования Julia.

Е.С. Груздова, маг.;
рук. А.Е. Аржанникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)

УЧЕТ ДИСКРЕТНОСТИ ПЕРЕМЕННЫХ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Для интенсификации образовательного процесса за счет экономии времени на рутинных вычислениях в рамках дисциплины «Спецвопросы оптимизации структур и параметров систем электроснабжения» создан лабораторный практикум, позволяющий студентам применять методы оптимизации к реальным схемам СЭС в средах Excel и MathCAD, имеющих в своем распоряжении необходимый встроенный инструментарий. Работа в программных средах позволяет студенту исследовать влияющие факторы, выявлять тенденции развития систем.

Большинство параметров СЭС дискретны – сечения проводников, номинальные мощности трансформаторов, мощности батарей конденсаторов (БК), что существенно усложняет решение задачи.

Учет дискретности переменных в Excel можно осуществить, используя наряду с дискретными значениями переменных двоичные переменные (δ_i), закрепленные за ними. Если одно из дискретных значений переменной входит в оптимальное решение, то соответствующая ему двоичная переменная принимает значение 1. Если нет – 0. Целевая функция и ограничения (и линейные, и нелинейные) в задаче выбора оптимальной мощности БК (Q_k) будут включать в себя и дискретные, и двоичные переменные, например, $\sum (Q_{k1}, Q_{k2} \dots Q_{kn}, \delta_1, \delta_2, \dots \delta_n) \rightarrow \min$. Суммы произведений ($\sum Q_{ki} \cdot \delta_i$) заменяют в формулах целевой функции и ограничений соответственно непрерывные переменные Q_{ki} . Задача с учетом дискретности содержит в себе на два ограничения больше:

- ограничение, которое задает двоичным переменным их тип;
- ограничение вида «если..., то...», которое задает логическое условие (например, «если каждое из дискретных значений мощностей БК может входить или не входить в оптимальное решение, то $\sum \delta_i \geq 0$ »).

Значение целевой функции в задаче с учетом дискретности переменных, как правило, ухудшается. Но простое округление непрерывных переменных до допустимых дискретных значений, может привести к неоптимальному и даже недопустимому решению.

Для выбора оптимального узла установки БК заданной мощности, потребуется логическое условие «если в оптимальное решение должен войти один из вариантов, то $\sum \delta_i = 1$ ».

Изучение методов дискретного программирования, разработка примеров расчета с использованием Excel, оформление методических материалов являются частью НИР авторов.

А.М. Кормилицына, маг.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Технические, политические и экологические факторы в последнее время стимулируют быстрый рост числа установок распределенной генерации (РГ). Оценка воздействия РГ на энергосистему – достаточно сложная научно-техническая задача, поскольку должны быть проанализированы одновременно аспекты функционирования системы контроля напряжения, координации релейной защиты, потерь и качества электроэнергии, надежности и многие другие.

В работе определены 3 группы проблем РГ: режимные, технические и организационные.

К режимным проблемам РГ можно отнести:

1. Сложности при планировании режимов работы ЭЭС;
2. Усложняется прогнозирование нагрузки при наличии в сети объектов РГ на возобновляемых источниках;
3. Параллельная работа РГ с электрической сетью значительно усложняет расчет статической и динамической устойчивости;
4. РГ может представлять некоторые проблемы для традиционного контроля и регулирования напряжения;
5. Отрицательное влияние на качество электрической энергии.

К техническим проблемам РГ можно отнести:

1. Релейная защита распределительных сетей усложняется;
2. Электрическая сеть с РГ требует наличия сложных автоматизированных систем управления.

К организационным проблемам РГ можно отнести:

1. Высокие таможенные пошлины на ввозимое из-за рубежа оборудование;
2. Сложности лицензирования при строительстве объектов РГ;
3. Трудности при присоединении к электрическим сетям и оказании услуг по оперативно-диспетчерскому управлению.

Библиографический список

1. **Боровков, В. М., Бородина, О.А.** Развитие малой энергетики, как элемент стратегической программы и энергосберегающей политики России // Энергетическая безопасность. Тез. Докл. – С-Пб: Ленэкспо, 2005. – С.10-12.
2. **Ерошенко, С.А., Карпенко, А.А.** Проблемы энергетики, № 11-12, 2010.

Е.О. Курилов, маг.;
рук. А.А. Шульпин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) в настоящее время широко применяется в различных отраслях промышленности, коммунальном хозяйстве и других сферах жизнедеятельности человека.

ЧРП состоит из преобразователя частоты, системы управления и асинхронного двигателя. Преобразователь частоты и система управления (инвертор) позволяют обеспечить плавный пуск, регулировку частоты вращения, останов и обратный ход электродвигателя, что позволяет экономить электроэнергию путем оптимального управления двигателем.

Особенно заметная экономия электроэнергии наблюдается в технологических процессах, где электродвигатели имеют малую нагрузку.

Одним из достоинств ЧРП является возможность рекуперации электроэнергии, что также позволяет экономить электрическую энергию.

Помимо энергосбережения ЧРП увеличивают срок службы электродвигателя и трубопроводной арматуры, повышают надежность всей системы, не требуют технического обслуживания. Также ЧРП позволяют осуществлять основные технологические задачи: регулирование давления, расхода, температуры, скорости, управление вентиляторами, насосами, компрессорами, конвейерами.

В качестве основного недостатка следует отметить создание помех большинством ЧРП. Совместная работа с некоторыми нагрузками, такими как батареи конденсаторов, может привести к появлению высших гармоник [1]. Для обеспечения нормальной работы необходимо устанавливать фильтры высокочастотных помех. Кроме того, повышенная мощность ЧРП значительно поднимает их стоимость, поэтому минимальный срок окупаемости составляет 1-2 года.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

Е.Д. Мартынова, маг.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ НА РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ENERGY POT»

Наиболее точным методом определения потерь электроэнергии является метод, основанный на использовании графика нагрузки

$$\Delta W = \Delta P_c \cdot T \cdot k_{\Phi}^2,$$

где k_{Φ} – коэффициент формы графика, который находится по месячным показаниям счетчика активной энергии [1].

Замеры электроэнергии, необходимые для представления графиков нагрузки, осуществляются посредством замеров с помощью АСКУЭ и ТИ, занесением показаний в оперативный журнал обслуживающим персоналом, использования сезонных замеров. Сложность определения потерь электроэнергии данным способом заключается в том, что он трудоемок, требует затраты большого количества времени и объема информации по режимам работы электрической сети, который не всегда может быть доступен. Поэтому возникает необходимость в поиске другого метода определения потерь электроэнергии.

В данной работе были рассмотрены различные реальные графики нагрузок и для каждого из них рассчитаны коэффициенты форм.

Полученные коэффициенты формы оказались достаточно малы для того, чтобы сказать, что они не оказывают существенное влияние на потери электроэнергии в данном случае. Причиной несущественных значений коэффициентов формы является малая изменчивость графика нагрузки. Данный факт объясняется тем, что потребители с неизменным режимом работы потребляют значительно больше мощности, чем потребители с переменным режимом работы. Для распределительных сетей малые значения коэффициента формы свидетельствуют о недостаточной загрузке трансформаторов, и как следствие, их неэкономическому использованию. Такая ситуация возникает, когда постоянные потери на холостой ход значительно превышают переменные потери, связанные с изменением нагрузки.

Библиографический список

1. **Приказ** Министерства энергетики РФ от 30.12.08 №326 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям".

К.Д. Молчагина, А.В. Сидоров, маг.;
рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТИ С ДУГОВЫМИ ПЕЧАМИ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В связи с развитием промышленного производства возрастает потребность в качественной стали, которая в основном производится дугowymi сталеплавильными печами (ДСП). ДСП являются мощными единичными потребителями энергии электроэнергетической системы и требуют особого внимания в связи с крайне негативным влиянием на питающую сеть из-за резко неравномерной нагрузки в период расплавления металла и нелинейного характера сопротивления электрической дуги.

Влияния ДСП на питающую сеть удобно проводить на математической модели, которая должна учитывать все элементы системы электроснабжения, параметры системы автоматического управления режимом работы печи и характеристики электрической дуги. С этой целью разработана математическая модель схемы подключения печи, а проводимость электрической дуги ДСП представляется с помощью уравнения Майера-Касси [1]. Кроме того, в разработанной модели учитываются динамические переходные процессы, позволяющие в полной мере оценить влияние ДСП на показатели качества электроэнергии.

Разработанная модель может быть использована лицами, занимающимися проектированием систем электроснабжения ДСП, для разработки оптимальной схемы и выбора электрооборудования, обеспечивающих лучшие показатели качества электроэнергии.

Следующим этапом работы будет сравнение результатов, полученных на математической модели, с осциллограммами токов и напряжений реальных схем электроснабжения ДСП.

Библиографический список

1. **Deepak C. Bloshe**, Ramesh B. Kelkar. New Time Domain Electric Arc Furnace Model for Power Quality Study. India International Conference on Power Electronics, IICPE. 2015. 10.1109/IICPE.2014.7115761.

*М.В. Маков, маг.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ

На современном этапе развития электроэнергетики большое внимание придается созданию управляемых или гибких линий электропередачи, являющихся составной частью «интеллектуальных» (Smart Grid) сетей с устройствами FACTS [1].

К устройствам FACTS относятся управляемые шунтирующие реакторы (УШР). УШР параллельно соединяется с конденсаторной батареей, что обеспечивает плавное регулирование реактивной мощности в зависимости от режима ее потребления и выработки [2].

Применение управляемых шунтирующих реакторов позволяет повысить предел передаваемой мощности по условию статической устойчивости практически до значения ее натуральной мощности. Это особенно актуально для протяженных линий [3].

В работе проведен анализ сравнительных характеристик УШРП (управляемый шунтирующий реактор с подмагничиванием постоянным током) и УШРТ (управляемый шунтирующий реактор трансформаторного типа) и определены области их применения в электрических сетях разных номинальных напряжений.

Выявлены схемные особенности УШРТ и УШРП. Главное преимущество УШРП по сравнению с УШРТ – меньшая мощность тиристорного преобразователя и, соответственно, меньшая стоимость. К основным недостаткам следует очень низкое быстродействие и нелинейность характеристики, которая может привести к возникновению резонансных явлений в примыкающей энергосистеме.

Проведен анализ опыта внедрения и перспектив использования управляемых средств компенсации реактивной мощности в ЕЭС России.

Библиографический список

1. **Положение** ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе, 2013.
2. **Кочкин, В.И., Нечаев, О.П.** Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – М.: НЦ ЭНАС, 2002. – 248 с.
3. **Дмитриев М. В.** [и др.]. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы / М. В. Дмитриев, А. С. Карпов, Е. Б. Шескин, А. Г. Долгополов, Д. В. Кондратенко. – СПб.: Родная Ладога, 2013. — 280 с.

СЕКЦИЯ 15

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Председатель – к.т.н., доцент **Лебедев В.Д.**

Секретарь – к.т.н., доцент **Филатова Г.А.**

*Е.А. Аграфенин, студ.;
рук. Ю.С. Чебрякова, к.т.н.
(ВлГУ, г. Владимир)*

СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ ОТ АВАРИЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Наиболее перспективным оборудованием для защиты от аварийных возбуждений на данный момент является интеллектуальное устройство управления энергопотреблением PML 630 [1] (производитель – АBB), обеспечивающее реализацию комплексной автоматической разгрузки сетей промышленных объектов. Устройство позволяет обеспечить защиту объекта от глобальных отключений, а также выхода из строя источников энергии, вследствие возможных аварий.

Данное устройство обеспечивает системную защиту малых или средних промышленных энергосистем от аварийных возмущений. Устройством поддерживается три режима функций автоматической разгрузки: быстрая автоматическая разгрузка, медленная автоматическая разгрузка, ручная разгрузка.

Основными протоколами передачи данных, согласно стандарту МЭК-61850, являются протоколы MMS и GOOSE. MMS используется для передачи данных от терминалов РЗА в SCADA систему для дальнейшей визуализации, а GOOSE — для обмена данными между терминалами. Важной особенностью протоколов является гарантированная доставка сообщений, а скорость передачи данных у MMS и GOOSE выше, чем у других протоколов передачи данных, таких как, например, Modbus [2].

Данное устройство имеет ряд преимуществ. В качестве среды для передачи дискретных и аналоговых данных процесса между интеллектуальными устройствами может использоваться ЛВС подстанции, меньшее кол-во аппаратуры ввода/вывода в устройствах, меньше затраты на техническое обслуживание. Использование быстрой и надежной станционной шины для передачи данных по технологии Ethernet LAN.

Библиографический список

1. **Каталог** продукции «АВВ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.abb.com/ru>.
2. **Устройство** автоматической разгрузки PLM-630 - [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://library.e.abb.com/public/7af8067d9be3d675c12578e1004278cf/REF630_pg_757347_RUa.pdf.

О.Д. Архангельский, асп.;
рук. Д.Б. Гвоздев, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», Москва)

ОЦЕНКА РИСКОВ НАРУШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ АСДУ В СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В связи с интеллектуализацией электроэнергетики, в настоящее время на первый план выходят вопросы обеспечения кибербезопасности энергообъектов [1]. Возможные информационные воздействия и кибератаки на объекты ЭЭС могут привести к нарушению работы не только автоматизированных систем и вторичного интеллектуального оборудования, но и первичного оборудования станций и подстанций [2].

Таким образом, актуальной становится проблема обеспечения безопасности автоматизированных систем управления электроэнергетических объектов. В соответствии с положениями системного анализа, для сложных технических систем необходимо рассматривать свойства всей системы, а не только входящих в нее отдельных элементов. Поэтому, наряду с оценкой надежности элементов и подсистем АСДУ, предлагается проводить также комплексную оценку рисков и анализ безопасности системы в целом.

Для решения этой задачи авторами предложена методика оценки безопасности АСДУ сложных электроэнергетических систем с применением теории рисков и нейро-нечетких сетей (ННС). Для формирования обучающей выборки ННС и оценки последствий различных информационных воздействий (кибератак) на энергосистему, разработана полунатурная модель ЭЭС, которая включает в себя вычислительный комплекс RTDS, устройства РЗА, оборудование и программное обеспечение АСУ ТП.

Разработанная методика оценки рисков нарушения функционирования АСДУ и созданная на ее основе нейро-нечеткая сеть позволяют получить интегральные значения риска для рассматриваемого объекта или системы. Результаты расчетов могут быть использованы для принятия управленческих решений: корректный и своевременный выбор мероприятий по управлению выявленными рисками позволяет обеспечить надежность и безопасность, как отдельных объектов электроэнергетики, так и ЭЭС в целом.

Библиографический список

1. Ливинский П.А., Гвоздев Д.Б. Инновационная энергосистема России в 2050 году // Энергетическая политика №6, 2017
2. Плешко Д.Ю. Влияние кибербезопасности объектов электроэнергетики на надежность функционирования ЭЭС//Актуальные проблемы энергетики, 2017

*Г.Р. Зиннатуллина, С.М.Тукаев, студ.;
рук. Р.Г. Хузяшев к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ДИСПЕРСИЯ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В НЕОДНОРОДНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Волновой метод определения места повреждения на воздушной линии основан на измерении разности времен распространения сигналов переходного процесса до противоположных точек линии электропередач (ЛЭП). В [1] исследовались параметры дисперсии сигналов переходного процесса в однородной однопроводной линии электропередач вблизи земной поверхности. Частотная зависимость коэффициента распространения электромагнитных волн приводит к увеличению длительности переднего фронта, уменьшению максимальной амплитуды и уменьшению скорости распространения сигнала переходного процесса в ЛЭП. В данной работе была поставлена задача исследовать параметры дисперсии в неоднородной однопроводной ЛЭП, как простейшей модели распределительной сети с отпайками. Неоднородность задается в виде поперечного активного сопротивления, место расположения и величина которого варьируются.

Для исследования сигналов переходного процесса модель однофазной воздушной линии 10 кВ создавалась в программном пакете PSCad.

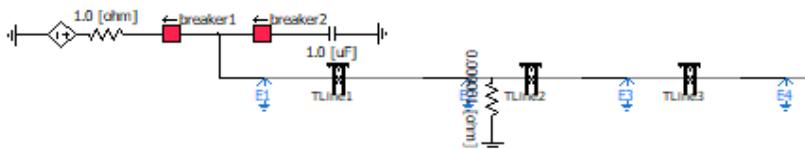


Рис.1. Часть модели ЛЭП, созданной в программе PSCad

Полученные результаты показывают, что при уменьшении величины поперечного сопротивления скорость распространения сигнала переходного процесса уменьшается.

Библиографический список

1. **Исследование** изменения временных параметров сигналов переходного процесса при распространении в распределительной сети 6(10) кВ для задачи определения места повреждения волновым методом / С. М. Тукаев [и др.]. //Энергобезопасность и энергосбережение. Вып. 84, 2018. – С. 5-17.

О.В. Мазнева, студ.;
рук. Р.Г. Хузяшев, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Корреляционный анализ является простейшим случаем использования искусственных нейронных сетей для классификации типа сигналов переходного процесса.

Визуальный анализ осциллограмм, полученных на комплексе [1] показал, что при коммутации высоковольтного выключателя генерируется сигнал переходного процесса, состоящий из двух импульсов. Длительность первого импульса варьируется от 98 до 563 мкс и имеет среднее значение 308 мкс. Длительность второго импульса варьируется от 822 до 1376 мкс и имеет среднее значение 942 мкс. Интервал между началами каждого импульса варьируется от 822 до 1376 мкс, а его среднее значение составляет 1100 мкс. Сигналы, сгенерированные естественными коммутациями (аварийные) имеют вид одного импульса средней длительностью 956 мкс с разбросом от 621 до 1180 мкс.

Для определения типа сигнала (первый или второй) используем корреляционный анализ с двумя эталонными функциями. Первая эталонная функция в виде двух видеоимпульсов единичной амплитуды, временные параметры которых определяются средними значениями зарегистрированных сигналов первого типа. Вторая эталонная функция в виде единичного видеоимпульса с соответствующей длительностью.

Зарегистрированные осциллограммы сигналов переходного процесса с помощью процедуры детектирования замещаются видеоимпульсами, над которыми и производится операция корреляционного анализа с двумя эталонными функциями.

Анализ максимальных величин коэффициента корреляции позволяет определить тип сигнала переходного процесса.

Библиографический список

1. Р.Г. Хузяшев, И.Л. Кузьмин, С.И. Новиков. Программно-аппаратный комплекс волнового метода определения места повреждения в сетях 6-10 кВ // Международная конференция и выставка «РЗА-2017»: материалы конференции. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 1179-1185.

**П.С. Пелевин, асп.; А.А. Лоскутов, к.т.н.; В.Ю. Вуколов, к.т.н.;
рук. А.Л. Куликов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Нижний Новгород)**

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ВОЛНОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ЛЭП

Получение сигнала с малым интервалом дискретизации лишь начальное необходимое условие дальнейшей цифровой обработки сигнала (ЦОС), содержащего высокочастотные (ВЧ) составляющие. Поскольку для оценки переходного процесса для целей волновых ОМП и РЗА зачастую важно оценить амплитуду и крутизну импульсов, а также относительное время их прибытия, то составляющая промышленной частоты, а также другие низкочастотные (до нескольких кГц) гармонические составляющие должны быть скомпенсированы [1, 2].

В докладе рассматриваются особенности фильтрации высокочастотных составляющих электромагнитного волнового процесса. Приводится структура реализации фильтров с конечной импульсной характеристикой, использующих малое число выборок цифрового сигнала. Рассмотрен пример фильтрации сигналов тока и напряжения, а также проведен анализ характеристик фильтров, использующих различное число отсчетов сигнала.

Целесообразно выделить два основных подхода к построению цифровых фильтров. Первый подход может применяться, если известны частотные характеристики измерительных преобразователей (ТТ, ТН). Частным случаем первого подхода является дискретное преобразование Фурье на коротком окне данных (например, 10 мкс). Второй подход является более общим, цифровой фильтр может реализовываться с учетом адаптации импульсной характеристики к параметрам измерительных преобразователей, например, ТТ.

Приводятся характеристики вариантов ВЧ фильтрации сигналов волнового процесса, а также анализируются структуры фильтров, целесообразные для применения в различных алгоритмах ОМП и РЗА.

Библиографический список

1. **Johns A.T., Salman. S.K.** Digital protection for power systems. // Peter Peregrinus Ltd., on behalf of the Institution of Electrical Engineers, – London, UK, 1995. – 203 p.
2. **Schweitzer E.O.** Locating Faults by the Travelling Waves They Launch / Schweitzer E.O., Guzman A., Mynam M.V., Skendzic V. // 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA. March 2014.

О.А.Позднякова, инж. – иссл.;
рук. М.В. Хохлов, к.т.н., доц.
(ИСЭиЭПС Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

При управлении электроэнергетическими системами необходимо оценивать параметры текущего установившегося режима по данным имеющихся в системе измерений. Устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) дают возможность получать измеряемые данные высокого качества. Ввиду их высокой стоимости, актуальна задача размещения ограниченного числа УСВИ в сети таким образом, чтобы обеспечивалась наилучшая точность оценивания параметров режима.

В работе рассматривается размещение УСВИ по критериям оптимальности, предлагаемым теорией оптимального эксперимента. Среди них значимый интерес представляют критерии A-, D-, M-, I-, G-оптимальности [1]. Для поиска мест установки УСВИ, удовлетворяющих тому или иному критерию, предлагается метод на основе популяционных алгоритмов [2].

Тестовые расчеты, выполненные на IEEE 24- и 118- узловых схемах, с использованием алгоритма дифференциальной эволюции, алгоритма колонии пчел и генетического алгоритма показывают возможность получения субоптимальных решений высокого качества. Относительная эффективность найденных расстановок при оптимизации критериев D-, A-, M-оптимальности близка к 1, а критериев G- и I-оптимальности – не хуже 0,8 (рис. 1).

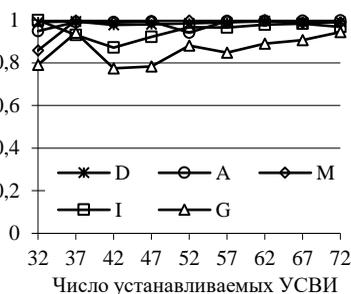


Рис. 1. Эффективность расстановок УСВИ в 118-узловой ЭЭС, полученных генетическим алгоритмом

Библиографический список

1. Хохлов М.В. К выбору критерия оптимального размещения РМУ для задачи оценивания состояния ЭЭС // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 69. Надежность развивающихся систем энергетики / В 2-х кн. / К. 2. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2018. – С. 382-391
2. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы вдохновленные природой,– М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 446 с.

С.М. Тукаев, студ.;
рук. Р.Г. Хузяшев, к.ф.-м.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДАТЧИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ

Целью данной работы является разработка программного обеспечения (ПО) микроконтроллера (МК) «STM32F303VC», входящего в состав датчика определения места повреждения волновым методом (ВОМП) «Монитор-К» в распределительных сетях среднего напряжения с разветвленной топологией. На сегодняшний день данные датчики успешно функционируют на реальных участках распределительных сетей 10 кВ компании ОАО «Сетевая компания», результаты их работы описаны в [1].

Основной задачей является одновременная оцифровка аналоговых сигналов с трех фаз среднего напряжения тремя аналого-цифровыми преобразователями (АЦП), входящими в состав МК. Для этого, помимо самих АЦП, были задействованы два блока прямого доступа к памяти (ПДП), при работе не использующих вычислительные ресурсы микропроцессора (МП). Период дискретизации АЦП фазных сигналов можно изменять от 0,2 мкс и выше, в зависимости от количества циклов обработки АЦП одной выборки и разрядности выходных данных. После заполнения оперативной памяти оцифрованными данными производится их обработка для выявления аварийного сигнала. Заданное пороговое значение сравнивается с y_i , вычисленным по формуле (1):

$$y_i = x_i - x_{i-n}, \quad (1)$$

где y_i – i -ое значение после обработки; x_i – i -ое значение оцифрованных данных; x_{i-n} – предыдущее оцифрованное значение до x_i .

Настройка периферийных устройств МК производилась с помощью стандартных функций библиотеки SPL («Standard Peripheral Library»). Алгоритм работы МК заключается в параллельной кольцевой работе трех АЦП и двух блоков ПДП, с обработкой МП данных после заполнения блоком ПДП половины и полного количества ячеек в массиве.

Библиографический список

1. Хузяшев, Р.Г. [и др.]. Программно-аппаратный комплекс волнового метода определения места повреждения в сетях 6-10 кВ // Международная конференция и выставка «РЗА-2017»: мат. конф. / Р.Г. Хузяшев, И.Л. Кузьмин, С.И. Новиков, – С.-Петербург, 2017. – С. 1179-1185.

*Д.В. Чернышов, В.В. Тихомиров, Д.В. Белов, студ.;
рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВА МТО, г. С.-Петербург)*

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ

В докладе рассмотрены актуальные вопросы контроля состояния кабельной сети до 1000 В системах электроснабжения с изолированной нейтралью ответственных объектов.

Проблема диагностирования технического состояния кабельной сети в процессе эксплуатации возникла в условиях эксплуатации уникальных, дорогостоящих и требующих повышенной надежности функционирующих объектах. Поскольку кабельные сети обеспечивают работоспособность всех систем, их техническое состояние решающим образом влияет на надежность этих объектов.

Принцип функционирования системы контроля состояния изоляции (СКСИ) заключается в том, что она осуществляет постоянный контроль за каждой из отходящей от ГРЩ линии, посредством измерения токов и напряжений нулевой последовательности, а также дополнительного параметра – угла сдвига фаз между ними. Анализ полученных данных позволяет однозначно определять линию как с возникшим ОЗЗ, так и с развивающимся дефектом, тем самым представляя диспетчерской службе своевременную информацию достаточную для осуществления заблаговременных действий.

Реализованная система контроля состояния изоляции позволяет решать ряд недоступных ранее функций: осуществлять автоматический контроль общего сопротивления; пофидерный контроль несимметричного снижения сопротивления изоляции; поиск мест с поврежденной изоляцией. Фактически СКСИ позволяет перейти в отношении эксплуатации кабельных сетей от обслуживания согласно графику ППОиР к обслуживанию по техническому состоянию на основе осуществления постоянного контроля и диагностирования состояния.

Библиографический список

1. **Колесник, И.В.** Создание системы контроля состояния изоляции кабельных сетей на объектах МО РФ / И.В. Колесник, В.Н. Панасюк, А.А. Тишков // Военный инженер №1(3), 2017.
2. **Системы** контроля изоляции в системах электроснабжения с изолированной нейтралью / А.К. Михайлов, Э.Н. Фоминич, О.А. Глухов, А.А. Тишков //Технология ЭМС № 3(22), 2007.

*С.Е. Шендер, студ.; С.А. Ерошенко, инж.;
рук. А.О. Егоров, к.т.н.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

В настоящее время существует проблема относительно низкого информационного оснащения задачи расчёта и контроля уровней токов коротких замыканий (КЗ) в энергосистемах. Дефицит данных наблюдается как при эксплуатации существующих энергообъектов, так и при проектировании новых объектов в энергосистеме [1].

Устранение дефицита данных достигается путём создания информационного сервиса, позволяющего визуализировать расчётные и фактические уровни токов КЗ. Для решения поставленной задачи подходит карта-схема, отображающая уровень токов КЗ с территориальной привязкой. Прототип такого информационного сервиса приведён на рис. 1 для энергосистемы Свердловской области, в которой функционируют 7 производственных отделений.

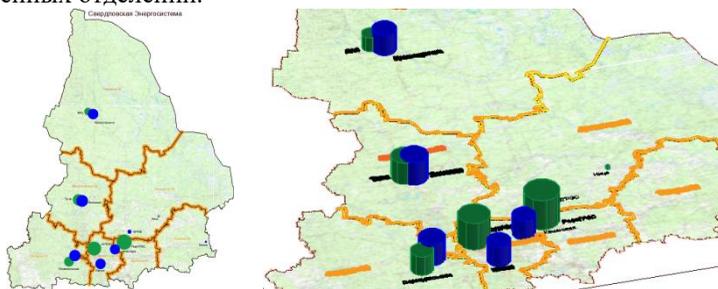


Рис. 1. Пример плоского и объёмного отображения уровней токов коротких замыканий на подстанциях-индикаторах на карте энергосистемы Свердловской области

Индикаторы – подстанции, которые наиболее чувствительны к изменению топологии и вводу нового оборудования в энергорайоне, они задают уровень коммутационной способности оборудования. Предложенная система существенно повышает информативность уровней токов КЗ, становится возможным быстро принять решение по отключающей способности коммутационного оборудования.

Библиографический список

1. **Инфографика** уровней токов коротких замыканий для повышения качества решений по оперативному управлению и развитию энергосистемы региона / С.А. Ерошенко, М.Р. Загидуллин, М.Д. Сенюк, К.А. Кузнецов // Сб. докладов VII Междун. молодёж. науч.-техн. конф.: Электроэнергетика глазами молодежи – 2016.

И.В. Новожилков, студ.;
рук. А.А. Филина
(ИЭК, г. Иваново)

РАСЧЕТ ДЗШ И ДЗР ПОДСТАНЦИИ «НОВО-ВНУКОВО 220/110/10 КВ» НА ТЕРМИНАЛЕ RED 521 И SPAD 346С, ВЫПОЛНЕННЫЙ В ЦЕЛЯХ ВОЗМОЖНОГО РЕКОСТРУИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПС

Дифференциальная защита реактора выполнена на микропроцессорных терминалах фирмы АВВ, включающих в себя дифференциальный модуль SPDC 3D53 (реле SPAD 346С). В состав терминала входят две ступени дифференциальных защит:

1. чувствительная ступень – дифференциальная защита,
2. грубая ступень – дифференциальная отсечка.

Для правильного функционирования дифференциальной защиты Руководящие указания [15] рекомендуют выбирать уставку защиты по выражению (1):

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot I_{нб.расч.} \quad (1)$$

$K_{отс} = 1,15$, коэффициент отстройки.

Расчетный ток небаланса, порождаемый в дифференциальной цепи сквозным током, с учетом коэффициентов определяется по выражению (2):

$$I_{нб.расч.} \geq (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta f) \cdot I_{скв.} \quad (2)$$

Где $K_{пер} = 2 - 2,5$ – коэффициент, учитывающий переходный режим;

$K_{одн} = 1,0$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0,1$ – относительное значение полной погрешности трансформаторов тока в установившемся режиме; $\Delta f = 0,02 - 0,04$.

Под сквозным током следует понимать ток внешнего КЗ, если определяется $I_{нб.КЗ}$, или ток нагрузки, если определяется $I_{нб.нагр.}$.

Библиографический список

1. **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.
2. **Руководящие** указания по релейной защите. Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: Схемы. – М.: Энергия, 1985. – 112 с.
3. **Методические** указания по микропроцессорным защитам АВВ «Реле – Чебоксары».
4. **Королёв Е.П., Либензон Э.М.** Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. – М.: Энергия, 1980.

*Е.А. Балувев, Б.О. Ковалев, студ.;
Г.А. Филатова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И УЧЕБНЫХ СТЕНДОВ

Неотъемлемой частью подготовки магистров профиля «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» является приобретение студентами практических навыков работы с современными микропроцессорными устройствами релейной защиты и автоматики (МПУРЗА), в том числе зарубежного производства.

Изучения дисциплины «Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики» предполагает проведение лабораторных практикумов. Лаборатория кафедры «Автоматическое управление электроэнергетическими системами» ИГЭУ оснащена МПУРЗА 7SA522, 7SD52 и 6MD66 серии Siprotec 4 производства фирмы Siemens в составе шкафов релейной защиты (основной и резервной) и автоматики линии электропередачи; многофункциональными устройствами защиты и местного управления 7SJ62/64 серии Siprotec 4; учебными стендами, имитирующими ячейки КРУ с встроенными МПУРЗА REF542plus, производство АBB.

В настоящий момент в рамках дисциплины проводится 4 лабораторных практикума: конфигурирование терминала 7SJ62/64 и управление лабораторной моделью выключателя; изучение функции дистанционной защиты терминала 7SA52; изучение защитных функций REF542plus; обмен GOOSE-сообщениями терминалами Siprotec 4. Во время лабораторной работы студентам предлагается изучить правила техники безопасности и особенности работы с МПУРЗА и устройством проверки «Ретом-51» или «Ретом-61», защитные функции терминалов, а также программные средства (ПС) для работы с указанными устройствами – DIGSI 4 и FUPLA REFConfigurator.

Кроме того, студентам необходимо рассчитать параметры срабатывания защит одного из элементов сети (по заданию) и провести экспериментальную проверку работы МПУРЗА с заданными параметрами срабатывания.

Изучение ПС и основ работы с МПУРЗА, отладка схем проведения экспериментов и оформление заданий и методических материалов для проведения лабораторных работ являются частью НИР авторов.

Готовкина Е.Е., инж.;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПО ПРОТОКОЛУ IEC 61850-9-2

Инновационное развитие электроэнергетики Российской Федерации связано со строительством цифровых подстанций. Доступ к информации, её передача и обработка на такой подстанции производится в цифровом виде. Передача мгновенных значений токов и напряжений на цифровой подстанции осуществляется в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2 (Sampled Values). Кроме мгновенных значений кадр данных в соответствии с указанным протоколом содержит атрибуты качества передаваемых значений. Стандарт IEC 61850 содержит только общие правила присвоения атрибутов качества и не регламентирует особенности работы с ними для различных первичных преобразователей тока и напряжения, а также правила их обработки в принимающих устройствах.

Присвоение атрибутов качества мгновенным значениям тока и напряжения должно выполняться соответствующим измерительным оборудованием. Коллективом исследователей ИГЭУ совместно с компанией ООО НПО «ЦИТ» разработаны цифровые трансформаторы тока и напряжения с нетрадиционными первичными преобразователями на классы напряжения от 6 до 220 кВ.

Целью настоящей работы является разработка алгоритмов диагностики нетрадиционных первичных преобразователей цифровых трансформаторов, алгоритмов присвоения атрибутов качества мгновенным значениям (по результатам работы алгоритмов диагностики) и алгоритмов обработки переданных данных в принимающих устройствах.

В докладе рассмотрены результаты исследований характеристик цифровых трансформаторов тока и напряжения, а также разработанные алгоритмы цифровой обработки данных.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по теме «Мультифункциональная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровой подстанции» (Соглашение №14.577.21.0276 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57717X0276).

П.С. Дунайцев, студ.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЗА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32

Одним из перспективных направлений в области релейной защиты и автоматизации является разработка мультиагентных распределённых сетевых микропроцессорных систем [1]. Технической базой для них являются мощные, и в тоже время сравнительно дешёвые, однокристалльные микроконтроллеры. Требованиям релейной защиты и автоматизации вполне удовлетворяют 32-х битные микроконтроллеры компании STMicroelectronics ARM Cortex M4, которые содержат три 12-ти разрядных АЦП с мультиплексным расширением и минимальным временем преобразования порядка 1 мкс, сетевые интерфейсы USB, Ethernet, а также значительные объёмы RAM и flash памяти до 1 МВ, при тактовой частоте 168 МГц.

В настоящее время в ИГЭУ на кафедре АУЭС идёт исследование возможностей микроконтроллеров STM32 (на основе отладочных плат компании Olimex), их программирование на языке высокого уровня C/C++, с использованием различных сред разработки и отладки, таких как: STM32CubeMX, CoIDE и Atollic TrueSTUDIO. Цель работы заключается в выборе оптимального состава программных и аппаратных средств программирования и отладки микропроцессорной системы, способной выполнять функции релейной защиты и автоматизации.



а) б)
Рис. 1. Микроконтроллер STM32F405RGT6:
а) внешний вид; б) распаянный на отладочной плате

Библиографический список

1. **План** мероприятия («Дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы. Министерство энергетики Российской Федерации. – М., 28.09.2016.

*Кутумов Ю. Д, студ.,
рук. В.Д. Лебедев, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЛЭП СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА АНАЛИЗЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Одной из наиболее актуальных проблем устройств релейной защиты (УРЗ) ЛЭП сверхвысокого напряжения (СВН) является повышение их быстродействия с целью обеспечения устойчивости ЭЭС. Время срабатывания современных УРЗ определяется, в основном, длительностью электромагнитных переходных процессов и величиной периода промышленной частоты. Однако существует способ повышения быстродействия УРЗ ЛЭП, который заключается в использовании волновых процессов. В таком случае быстродействие УРЗ будет ограничено только временем распространения электромагнитной волны по защищаемой ЛЭП.

Основная цель данной работы – разработка УРЗ, основанного на анализе волновых процессов в ЛЭП сверхвысокого напряжения.

В связи с поставленной целью, выделим задачи работы. Нам необходимо:

- 1) Изучить математические зависимости, которые применяются для описания волновых процессов в ЛЭП СВН;
- 2) На основании изученного материала сформулировать требования к программной модели ЛЭП СВН, принять приемлемые допущения;
- 3) Составить модель защищаемого объекта, произвести её испытания;
- 4) Предложить алгоритмы цифровой обработки измеряемых сигналов, сформулировать требования к параметрам аналого-цифрового преобразования данных сигналов;
- 5) Программно задать цифровые алгоритмы пускового и измерительного органов предложенного УРЗ, произвести их испытания;
- 6) Сделать промежуточные выводы по проделанной работе, оценить её дальнейшие перспективы.

Библиографический список

1. **Костенко, М.В.** Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных ЛЭП / М.В. Костенко, Л.С. Перельман, Ю.П. Шкарин. – М.: Энергия, 1973.
2. **Основы теории цепей:** учеб. для вузов / Г.В.Зевеке, П.А. Ионкин [и др.]. – М.: Энергия, 1975.

Н.А. Родин, маг.;
рук. Л.М. Колесов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УЛАВЛИВАНИЯ СИНХРОНИЗМА

Улавливание синхронизма (УС) – один из способов включения выключателя на линиях с двусторонним питанием. Улавливание синхронизма эффективнее, чем ожидание синхронизма, так как позволяет расширить область допустимых значений скольжений. Суть УС заключается в подаче разрешающей команды в такой момент времени, чтобы включение произошло, когда векторы напряжений по обеим сторонам выключателя сонаправлены. Момент подачи разрешающей команды от УС определяется временем включения выключателя.

Целью данной работы является исследование алгоритмов УС для реализации функции автоматического повторного включения (АПВ) в микропроцессорных терминалах автоматики управления выключателем (АУВ).

Один из исследуемых алгоритмов УС используется в синхронизаторе с постоянным временем опережения. В данном алгоритме определяется сумма напряжения скольжения и его производной, увеличенной в K раз. Значение коэффициента K определяется временем включения выключателя. Когда данная сумма становится меньше нуля, подается команда на включение выключателя.

Другой алгоритм УС заключается в использовании элемента выдержки времени с регулируемой уставкой. В момент, когда напряжение скольжения достигает минимума, запускается элемент задержки, время срабатывания которого определяется разностью периода скольжения и времени включения выключателя. Когда элемент выдержки времени срабатывает, подается команда на включение выключателя.

Анализ алгоритмов был произведён в пакете прикладных программ MATLAB. Он показал, что данные алгоритмы имеют достаточно высокую точность, и их можно использовать для реализации функции АПВ в терминалах АУВ на линиях электропередач с двусторонним питанием.

В.А. Строгов, А.С. Тимофеев, Д.С. Шарыгин, студ.;
Г.А. Филатова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СОСТАВЕ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В ИГЭУ на кафедре АУЭС совместно с ООО НПО «Цифровые измерительные трансформаторы» разработаны цифровые трансформаторы тока и напряжения, а также комбинированные трансформаторы для классов напряжений 6 (10), 35, 110 и 220 кВ. С 2018 года комплект цифровых трансформаторов (ЦТ) проходит опытную эксплуатацию на действующей ПС «Ивановская». В настоящий момент разрабатывается мультифункциональная система, использующая сигналы от ЦТ, содержащая функции коммерческого учета, диагностики, релейной защиты и автоматики, в том числе определения места повреждения (ОМП) [1]. Использование ЦТ, позволяющих, по сравнению с традиционными преобразователями, измерять напряжение и ток без искажения их формы и в более широком частотном диапазоне, предполагает существенное увеличение точности алгоритмов ОМП.

Разработан двухсторонний способ ОМП на основе синхронизированных замеров параметров аварийного режима, с использованием поясов Роговского и других инновационных датчиков в качестве первичных преобразователей. Алгоритм расчета расстояния до места повреждения реализован в программной среде Matlab. Исследование работы алгоритма проводилось на имитационных моделях электрических сетей в Simulink, содержащих основные виды электрооборудования: источники электрической энергии (синхронные генераторы), линии электропередачи, силовые трансформаторы, обобщенную нагрузку.

Исследовано влияние на точность алгоритмов ОМП следующих факторов: метод преобразования и расчета электрических величин и их производных; использование различных входных фильтров; наличие переходного сопротивления в месте короткого замыкания; изменение электрической нагрузки: наличие емкостной проводимости фаз на землю и др.

Библиографический список

1. **Lebedev V.D.; Yablokov A.A.; Filatova G.A.; Lebedeva N.V.** Specific Features of Digital Current and Voltage Transformers for Relay Protection, Automation and Commercial Electric Power Metering // Proc. of 2018 International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation (RPA), – М., 27-28 Sept. 2018.

*М.В. Тихомирова, маг.;
рук. О.В. Фролова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТОК НЕБАЛАНСА В ТОКОВОЙ ЗАЩИТЕ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Погрешности трансформаторов тока являются одной из основных причин появления тока небаланса в нулевом проводе, как в нормальном режиме, так и при внешнем коротком замыкании. Величина погрешностей зависит от величины и характера нагрузки на ТТ и возрастает при увеличении первичного тока. Наибольшее значение ток небаланса имеет при переходном процессе. Это связано с тем, что постоянная по знаку апериодическая составляющая первичного тока увеличивает магнитный поток в сердечниках ТТ, приводя к насыщению, в связи с чем резко увеличиваются погрешности трансформаторов и, повышается ток небаланса в защите.

Решением данной проблемы является применение цифровых ТТ, главными преимуществами которых являются:

1. соответствие инновационной концепции развития электроэнергетики по направлению «Цифровая подстанция»;
2. совместимы как с традиционными, так и с передовыми МП приборами учета электроэнергии и РЗ;
3. формирование выходного сигнала в формате IEC 61850-9-2;
4. точно воспроизводят формы кривых токов во всех режимах.

Цифровой датчик тока моделируется в виде резистивного датчика. Резистивный датчик – это четырехконтактный резистор или шунт, содержащий два токовых и два потенциальных вывода. В ходе исследования модели сети в программе Matlab было проведено сравнение токов небаланса 3I0 до и после шунта. Результаты показали, что погрешности шунта практически не оказывают влияние на ток небаланса 3I0 в виду их малых значений, но значение тока небаланса 3I0 после шунта увеличивается из-за ошибки квантования, которая обусловлена малым значением подаваемого сигнала на вход АЦП. С учетом этой погрешности коэффициент небаланса равен 0,0006. В руководящих указаниях по релейной защите для аналоговых ТТ в зависимости от расчетной кратности тока коэффициент небаланса принимается равным 0,05-0,1.

Можно сделать вывод, что погрешности, возникающие вследствие ошибки квантования, не влияют на работу релейной защиты. Устранить выявленный недостаток можно усилив сигнал на входе АЦП при помощи операционных усилителей.

Библиографический список

1. **Федосеев, А. М.** Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: учеб. пособие для вузов / А. М. Федосеев. — М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.

*М.В. Тихомирова, А.В. Шакирьянов, маг.;
рук. О.В. Фролова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАПАЗОНА УГЛОВ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Реле направления мощности применяются в схемах защиты от междуфазных КЗ всех видов, реагирующей на направление мощности нулевой последовательности. Характеристической величиной РНМ₀ является угол сдвига между подводимыми к нему величинами, а именно U_p и I_p .

Для рассматриваемого случая ТНЗНП трансформатора схема включения РНМ₀ представляет собой одноэлементное реле, включаемое на напряжение $\dot{U}_p=3\dot{U}_0$ и ток $\dot{I}_p=3\dot{I}_0$, используемая для фиксации направления мощности нулевой последовательности при КЗ на землю в сетях с глухозаземленными нейтральями. Помимо разрешающего реле направления мощности, для III и IV ступеней в целях повышения чувствительности при удаленных КЗ на землю применяется логика с использованием блокирующего РНМ₀.

В сетях с двухсторонним питанием угол разрешающего и блокирующего РНМ₀ может меняться в зависимости от изменения соотношений параметров двух питающих систем по концам от защищаемого объекта. В общем случае данную закономерность можно отследить путем изменения соотношения реактивной и активной составляющей сопротивлений систем как при внутреннем, так и при внешнем КЗ на землю. В обоих случаях происходит изменение векторной диаграммы токов и напряжений нулевой последовательности, а, следовательно, и характеристического угла максимальной чувствительности, исследуемого РНМ₀.

Для исследования диапазона углов РНМ₀ собрана модель электрической сети в программном комплексе Matlab.

При изменении соотношения X/R угол максимальной чувствительности разрешающего РНМ₀ находится в диапазоне $180^\circ \leq \varphi_{0p} < 270^\circ$. Аналогичные замеры для блокирующего РНМ₀ показали, что угол $\varphi_{0bl} = \dot{U}_0 \wedge \dot{I}_0$ расположен в пределах $0^\circ \leq \varphi_{0bl} < 90^\circ$. Таким образом, полученные диапазоны не пересекаются при любом соотношении параметров систем и находятся в противоположных квадрантах. Для разрешающего РНМ₀ можно зарезервировать III квадрант, а для блокирующего - I квадрант.

Библиографический список

1. **Федосеев, А. М.** Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: учеб. пособие для вузов. / А. М. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 387-394.
2. **Черных, И.В.** Simulink: Инструмент моделирования динамических систем / И.В. Черных. – Питер: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.

*Д.С. Шарыгин, студ.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕТРАДИЦИОННЫХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Измерение токов и напряжений традиционно выполняется при помощи электромагнитных трансформаторов. Данное измерительное оборудование имеет значительные массогабаритные показатели, является взрыво- и пожароопасным, искажает форму сигнала в переходных режимах, особенно во время коротких замыканий, из-за насыщения магнитопроводов апериодической и периодической составляющей тока, при его работе возникают феррорезонансные явления. Кроме того, большинство электромагнитных трансформаторов не обеспечивают достаточную точность для систем коммерческого учета электроэнергии из-за влияния электромагнитных наводок на аналоговые вторичные цепи, перегрузки или недогрузки вторичных цепей, а также других факторов [1].

Расширение использования цифровых технологий в электроэнергетике открывает возможность применения нетрадиционных первичных преобразователей, таких как пояса Роговского, резистивные делители напряжения, которые лишены указанных выше недостатков. Однако, широкое применение подобных устройств ограничивается отсутствием значительного опыта их эксплуатации на электроэнергетических объектах и недостаточным изучением их технических характеристик. Практический интерес представляют амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики, зависимости погрешностей преобразования от температуры окружающей среды, внешних электромагнитных полей и положения датчика, соотношение сигнал/шум, а также способы уменьшения влияния указанных факторов на погрешности измерения.

В докладе будут представлены результаты исследований частотных характеристик различных нетрадиционных первичных преобразователей тока и напряжения, а также рассмотрены факторы, влияющие на погрешности преобразования при стационарных и нестационарных режимах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10455) в ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина".

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010. Трансформаторы измерительные. Ч. 8. Электронные трансформаторы тока. – М.: Стандартинформ, 2012. – 98 с.

Шелудько М.В., студ.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ЦИФРОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Российской Федерацией взят курс на комплексную цифровую трансформацию экономики и социальной сферы России, которую государство планирует осуществить к 2024 году. Для этого необходимо внедрить цифровые технологии во все ключевые сферы экономики, в том числе электроэнергетику, и госуправления, наладить подготовку кадров, модернизировать цифровую инфраструктуру и разработать законодательство о цифровых технологиях [1].

Цифровые трансформаторы тока и напряжения, разработанные коллективом исследователей ИГЭУ совместно со специалистами ООО НПО «ЦИТ», соответствуют направлению развития государства и наилучшим образом подходят для организации измерений на цифровых подстанциях. В соответствии с концепцией развития электроэнергетики «Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью» оборудование цифровых подстанций должно обладать функциями самодиагностики.

Целью работы является разработка имитационных моделей первичных преобразователей тока цифровых трансформаторов для исследования алгоритмов их диагностики.

Цифровой трансформатор содержит несколько первичных преобразователей тока с различными техническими характеристиками и предназначенными для разных целей: малогабаритный трансформатор тока, пояс Роговского и датчик постоянного тока.

В докладе будут представлены разработанные трехмерные имитационные модели малогабаритного трансформатора тока, учитывающие явление магнитного гистерезиса, и пояса Роговского.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10455) в ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина".

Библиографический список

1. **Электронный** ресурс. АНО «Цифровая экономика». URL: <https://data-economy.ru/> [Дата обращения: 10.01.2019].

*А.Е. Петров студ.; рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц. Г.А. Филатова
к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА RTDS

Разработан алгоритм определения места повреждения (ОМП), основанный на одностороннем замере мгновенных значений производной тока и мгновенных значений напряжения в моменты перехода тока через нулевые значения в составе информационной системы (ИС). Идентификация вида КЗ осуществляется по числу поврежденных фаз, токам нулевой и обратной последовательностей. По виду КЗ определяется расчетное выражение для ОМП, по которому выполняется вычисление индуктивности и расстояния l до места повреждения.

Разработан макетный образец ИС с функцией ОМП и методика его исследования на Ретом-61850 и RTDS. Проведена оценка работы алгоритма при моделировании переходных процессов в среде RSCAD и выдачи sv-потока первичных сигналов с платы GTNETx2-SV-v6 комплекса моделирования RTDS непосредственно в режиме реального времени.

Исследования алгоритма ОМП (на имитационных моделях и экспериментальные исследования макетного образца ИС) показали устойчивость функционирования алгоритма ОМП и приемлемую точность, в том числе при влиянии основного искажающего фактора – переходного сопротивления (до 50 Ом).

Точность способа не зависит от величины переходного сопротивления, величины электрической нагрузки, угла пробоя, наличия емкости фаз ЛЭП на землю. При изменении указанных факторов для одной удаленности КЗ погрешность не превышала 1-2%. Наибольшее влияние на точность ОМП оказывает удаленность КЗ. При удаленности 100 км от точки замера погрешность может составить 8%

При испытаниях ИС точность алгоритма оказалась сопоставимой с точностью алгоритмов других устройств отечественного производства, не было выявлено случаев сбоя работы или отсутствия расчета места повреждения (в отличие от испытуемых образцов других фирм).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10455) в ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина".

*А.Е. Петров, А.С. Тимофеев, студ.; рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
Г.А. Филатова к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ

Низкие массогабаритные показатели цифровых трансформаторов с нетрадиционными первичными преобразователями тока и напряжения делают возможным монтаж измерительных устройств (информационной системы (ИС) с функциями ОМП) на анкерных опорах линий электропередач (ЛЭП) без необходимости установки дополнительных монтажных конструкций.

В составе ИС разработан алгоритм ОМП, осуществляющий односторонний, замер расстояния до места повреждения (КЗ) по параметрам аварийного режима [1]. Предложенный способ ОМП предполагает использование сигналов с нетрадиционных датчиков тока и напряжения, в том числе, производных токов с поясов Роговского, входящих в состав цифровых трансформаторов.

Разработана методика автоматизированного исследования способа ОМП на имитационных моделях. Разработанная программа в MATLAB выполняет серию вычислительных экспериментов без участия исследователя. Исследователь задает диапазон изменения искажающего замер фактора (например, переходного сопротивления в месте замыкания), а также дискретность его изменения. При помощи специализированных функций программа выполняет задание параметров модели в Simulink, запускает расчет модели, получает мгновенные значения тока, производной тока и напряжения, выполняет их обработку согласно исследуемому алгоритму определения места повреждения, записывает результаты расчетов в массив и повторяет указанную последовательность действий для следующего набора параметров.

Показано, что использование поясов Роговского для физического измерения производных первичных токов повышает точность ОМП.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10455) в ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина".

Список литературы

1. **A. Yablokov, G. Filatova, A. Timofeev** Using of non-traditional current and voltage sensors for the fault location – Proc. of MATEC Web Conf., Volume 141, 2017, pp. 1–5.

СЕКЦИЯ 16

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

Председатель – к.т.н., доцент Тихов М.Е.

Секретарь – к.т.н., доцент Долгих И.Ю.

Е.Н. Туренкова, студ.;
рук. И.Ю. Долгих, к.т.н., Л.Б. Корюкин
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ИНДУКЦИОННОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Индукционный нагрев является прогрессивным электротехнологическим процессом, основанным на бесконтактной передаче энергии в токопроводящие тела, находящиеся в электромагнитном поле индуктора. Простейший индуктор представляет собой одновитковую или многовитковую катушку индуктивности, подключаемую к внешнему источнику переменного тока. Применение индукционного нагрева обеспечивает широкий спектр преимуществ [1], важнейшим среди которых является выделение электрической энергии непосредственно в изделии, что позволяет осуществлять его нагрев с высокой скоростью, пропорциональной вводимой мощности.

Одним из перспективных направлений использования индукционного нагрева является индукционная точечная сварка [2], предназначенная для получения неразъёмных соединений тонких листов и массивных металлических конструкций. При её осуществлении индуктор накладывается над свариваемыми поверхностями в требуемой области и осуществляет их нагрев до заданной температуры. По окончании нагрева детали сдавливаются штоком, расположенным внутри индуктора, образуя тем самым точку сваривания.

Изучение характеристик индукционного нагрева было выполнено в программе полевого моделирования COMSOL Multiphysics на примере точечной сварки стального диска толщиной 9 мм и тонкой пластины толщиной 1 мм. Разработанная модель исследования температурных и электромагнитных процессов позволила проанализировать картины распределения температуры в изделии и динамику её изменения в различных режимах работы индукционной установки. Варьирование количества витков индуктора, а также частоты и величины тока в нём позволило определить параметры, обеспечивающие быстрый и равномерный нагрев требуемой для сварки области изделия до необходимой температуры.

Библиографический список

1. **Алиферов А.** Индукционный и контактный нагрев металлов: монография / А. Алиферов, С. Лупи. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 411 с.
2. **Способ** односторонней индукционной точечной сварки разнотолщинных деталей и устройство для его осуществления / А.Н. Королёв, И.Ю. Долгих, Л.Б. Корюкин, Е.Н. Туренкова; заявка № 2017136048 с приоритетом от 10.10.2017, решение о выдаче патента от 20.08.2018 г.

*П. Ю. Коваль, студ.;
рук. В.Ю. Кожевников, к.т.н., доц.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов)*

ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ ABS-ПЛАСТИКОМ, АРМИРОВАННЫМ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ ВОЗДЕЙСТВИЯ

ABS-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол) - материал для 3D-печати, который пользуется большой популярностью в области 3D печати, тем не менее, его прочностные характеристики ограничены. Известны технологии упрочнения ABS-пластика путем внедрения армирующих элементов – частиц или волокон. Известна технология армирования ABS-пластика, где ролинг из армирующих волокон пропитан ABS-пластиком.

В качестве объекта изучения выбрана технология создания изделий методом 3D-печати из ABS-пластика, армированного нитью из углеволокна с использованием СВЧ воздействия.

Анализ существующих исследований на тему СВЧ воздействия на готовые изделия из ABS – пластика заполненные углеродными волокнами, показал, что обработка образца в СВЧ поле частотой 2450 МГц в течение 10 секунд приводит к увеличению разрывного усилия в 1,74 раза, а модуля упругости – в 3,5 раза [1].

СВЧ обработка композитной нити производится в процессе печати для каждого слоя отдельно. После нанесения первого слоя экструдер выводится из рабочей области, и слой подвергается СВЧ воздействию. Цикл повторяется до завершения последнего слоя.

Методом волноводного тройника были установлены диэлектрические параметры такого материала.

Таблица 1. Результаты экспериментов по определению диэлектрических свойств

ABS пластик	2ABS +1УВ	3ABS +2УВ
$\epsilon_1=2.53$	$\epsilon_1=3.41$	$\epsilon_1=4.11$
$Tg\delta=0.024$	$Tg\delta=0.036$	$Tg\delta=0.045$

В связи с высокими механическими характеристиками материала такая технология может быть использована для создания медицинских ортезов.

Библиографический список

1. **Злобина, И.В., Бекренев, Н.В.** Возможности использования и модификации углеволокна и композиционных материалов на его основе // Научное обозрение. Технические науки, 2016. № 3. – С. 50-53

*В.А. Норин, студ.;
рук. И.С. Снитько, ст. преп.
(ИГЭУ, Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТЕЙ РАССЕЙЯНИЯ МНОГООБМОТОЧНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Как правило, одним из наиболее важных расчетов силового трансформатора, от которого требуется высокая точность, является расчет магнитного поля. Он позволяет, в частности, смоделировать работу трансформатора, как в статических, так и в динамических режимах. При этом большое значение имеет точность расчета потоков рассеяния. Под потоками рассеяния понимают линии магнитной индукции, не проходящие через сердечник, а замыкающиеся через пространство, занятое обмотками, межслоевыми и межсекционными прокладками, воздушное пространство и металлические детали трансформатора, расположенные вокруг катушек.

Потоки рассеяния обычно малы по сравнению с основным магнитным потоком. Однако допущение о неучете потоков рассеяния приводит к тому, что коэффициент магнитной связи между катушками будет равен единице, что противоречит физическому смыслу.

В настоящее время предложено множество способов определения индуктивностей рассеяния при известной геометрии силового трансформатора. Большинство из них являются аналитическими и реальную геометрию трансформаторов (ступенчатый магнитопровод, способ намотки провода) учитывают с помощью приближенных коэффициентов. Наряду с этими методами используют 2D и 3D моделирование, при котором определяют величины основного магнитного потока и потока рассеяния и из этих параметров определяют индуктивности рассеяния [1].

Рассмотренные методы имеют довольно невысокую точность, что является основанием для дальнейших поисков возможностей определения параметров рассеяния силовых трансформаторов.

Предлагаемый метод заключается в применении определенных граничных условий при 3D моделировании силового трансформатора, позволяющих рассмотреть только поле рассеяния без учета основного магнитного потока. В результате искомые индуктивности могут быть определены довольно просто и с высокой точностью.

Библиографический список

1. **Пайков И.А., Тихонов А.И.** Анализ моделей для электромагнитного расчета силовых трансформаторов // Вестник ИГЭУ. – 2015. – Вып. 3. – С. 45–50.

В.А. Норин, студ.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Силовые трансформаторы являются одним из значимых элементов энергосистемы, от которых зависит надёжность передачи электроэнергии. Оперативная диагностика трансформаторов - это ключ к значительному уменьшению затрат и увеличению надёжности энергоснабжения. Для решения задач мониторинга и диагностики трансформатор должен обладать способностью анализировать полученную информацию и выдавать рекомендации о состоянии.

Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов предназначены для: [1]

- непрерывного измерения, регистрации и отображения основных параметров трансформаторов классов напряжения 220-750 кВ в нормальных, предаварийных и аварийных режимах;
- оценки и прогнозирования технического состояния трансформаторов.

Система мониторинга устанавливается на трансформаторы и автотрансформаторы мощностью выше 167 МВА.

Для каждой системы мониторинга выбор используемых датчиков определяется при проектировании системы мониторинга, а на этапе эксплуатации не совершенствуются. Внешние датчики могут контролировать различные параметры и их количество для каждой системы конкретно не определено и может варьироваться. [2]

Для мониторинга состояния силового трансформатора используются датчики различных видов от простейших аналоговых, до сложных систем с использованием оптоволоконных датчиков.

Оптоволоконные датчики точнее и чувствительнее к изменениям, меньше, удобнее, но самое главное - они обладают большим быстродействием, чем обычные датчики мониторинга силовых трансформаторов. Недостатком является цена таких датчиков: она на порядок выше.

Библиографический список

1. **Приложение к приказу** ОАО «ФСК ЕЭС» от 18.04.2008 № 140. СТО 56947007-29.200.10.XXX-2008. –М., 2008.
2. **Чичёв, С. И.** Информационно - измерительная система электросетевой компании [Текст] / С. И. Чичёв, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – М.: Спектр, 2011. –156 с.

В.И. Ионова, студ.;
рук. В.Е. Шмелёв, к.т.н., доц.
(ВлГУ, г. Владимир)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА НА ФОРМУ ТОКА ТРАНСФОРМАТОРА

Идеальным режимом работы электрооборудования на промышленном предприятии, как правило, является синусоидальный режим. Синусоидальность напряжений обеспечивает система электроснабжения. Нелинейность электрической или электротехнологической нагрузки приводит к искажению формы тока и к соответствующему влиянию на другие электроприёмники.

Рассмотрим влияние насыщения магнитной цепи трансформатора или индуктора на форму тока в режиме холостого хода. На рис. 1 изображена основная кривая намагничивания электротехнической стали [1]. Методом теории магнитных цепей производится пересчет основной кривой в вебер-амперную характеристику первичной обмотки трансформатора или индуктора. Ее вид по форме совпадает с кривой намагничивания, отличие заключается только в масштабах: по горизонтали – ток вместо напряженности магнитного поля, по вертикали – магнитное потокоцепление вместо магнитной индукции.

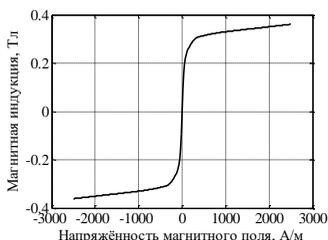


Рис. 1. Кривая намагничивания

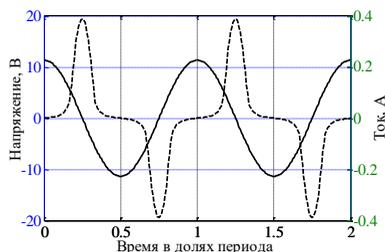


Рис. 2. Оциллограммы напряжения и тока

На рис. 2 изображены оциллограммы напряжения и тока. Как видно, форма тока сильно отличается от синусоиды из-за насыщения магнитной цепи и имеет высшие гармоники [2].

Библиографический список

1. **Электротехнический** справочник: В 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: МЭИ, 2003. – 440 с. ISBN 5-7046-0985-6.
2. **Ионова, В.И.** Частотный анализ влияния магнитного гистерезиса трансформатора на качество переменного тока// Сб. науч. трудов XIII Междун.н-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых. «Энергия -2018». –Иваново, 2018.

А.В. Солодунов, маг.;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь)

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

При работе трансформатора существуют потери, которые состоят из потерь холостого хода, возникающие в результате перемагничивания активной стали сердечника, нагружающих потерь, которые представляют собой сумму потерь в медных обмотках, и дополнительных потерь в стенках бака и других металлических частях, которые вызываются потоком рассеивания.

Повышение стоимости энергии стимулировало снижение, как потерь холостого хода, так и нагружающих потерь, последних особенно в трансформаторах на электростанциях и других трансформаторах, которые имеют высокий коэффициент загрузки. За счет совершенствования конструкции и применения современных материалов потери в трансформаторах снижены в среднем на 50%. В среднем они составляют около 1% от номинальной мощности трансформатора (в мощных менее 1%, а малой мощности 2-3%), что при большом количестве трансформаций в электрических сетях нельзя считать удовлетворительным. Уменьшение суммарных потерь электроэнергии в электрических сетях может быть достигнуто за счет: совершенствования конструкции трансформаторов, уменьшения количества трансформаций, рационального использования трансформаторов с учетом их нагружающей способности.

Уменьшение потерь холостого хода можно достичь применением более современных сортов стали с улучшенными магнитными свойствами. Такая сталь обладает низкими удельными потерями и низкими затратами энергии на намагничивание. Таким образом, уменьшаются потери на вихревые токи и гистерезис.

В настоящее время уровень потерь холостого хода трансформаторного оборудования значительно снизился за счет применения более современной и функциональной стали, улучшения конструкции магнитных систем и модернизации сердечников.

Библиографический список

1. **Расчет**, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М.: ЭНАС, 2008. – 215с.

В.П. Федосеева, студ.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАГНИТОЖИДКОСТНЫЙ ВИБРОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аварии, происходящие на энергетических предприятиях, связаны с механическим разрушением оборудования, вызванным действием вибраций в результате недопустимых колебаний. Приборы для измерения вибраций гидрогенераторов, турбогенераторов, газовых турбин, мощных асинхронных и синхронных электродвигателей предназначены для контроля и регистрации виброскоростей, виброускорений, амплитуд и частот синусоидальных колебаний.

Для повышения точности измерений виброхарактеристик энергетического оборудования разработан магнитожидкостный виброметр (МЖВ) [1]. МЖВ работает по принципу магнитной пружины. В качестве инерционного элемента используется кольцевой постоянный магнит, помещённый в магнитную жидкость.

Рабочий диапазон частот магнитожидкостного виброметра находится в пределах 4-2000 Гц, при ускорениях 0,2-300 g.

Цель работы заключалась в численном и экспериментальном определении силы взаимодействия между магнитом инерционного элемента и магнитами, расположенными в съёмных частях корпуса.

Исследовались магниты из «закрытых» материалов с величиной остаточной индукции $B_r=0,95$ Тл и коэрцитивной силы $H_c=680$ кА/м, которые имели размеры: $K32 \times 18 \times 5$, $K17,1 \times 10 \times 11$, $K11 \times 6 \times 2,5$.

Для моделирования магнитного поля в МЖВ использовался пакет FEMM. Распределение магнитной индукции рассматривалось в диапазоне $0,1D - D$ с шагом $0,1D$ от поверхности магнита, где D – наружный диаметр кольцевого постоянного магнита.

Экспериментальные исследования силы взаимодействия между магнитами были проведены на специально разработанном стенде. Погрешность полученных расчетных и экспериментальных результатов силы взаимодействия между магнитами в МЖВ составила 12-30%.

Библиографический список

1. Сайкин, М.С., Федосеева, В.П. Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, Российская Федерация № 184838 RU, МПК G01H 11/02, Приоритет от 12.07.2018, опубл. 12.11.2018, Бюл. N 32.

А. Н. Любимов, студ.;
рук. К. В. Куликов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО РОБОТА

Роботизация современного производства, в том числе сварочного, приводит к повышению качества сварки и производительности.

В данной публикации будут даны подходы к построению одного из таких устройств. Кинематическая схема робота представлена на рис. 1. Данный робот обладает тремя степенями свободы и предназначен для изготовления деталей с продольным швом. Основным критерием, при его создании, являлась точность позиционирования рабочего органа, при минимизации времени на эту операцию. По кинематической схеме, в которой изображены 3 подвижных узла, было определено положение центров масс системы, действие статических моментов и, соответственно, размеры самих звеньев. Используя возможности AutoCad, были найдены максимальные скорости и ускорения, на которые можно разгонять ротор каждого двигателя, при этом учитывалась упругость материалов. Полученные скорости для каждого из звеньев представлены в табл. 1.

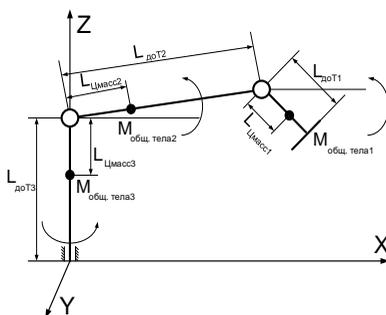


Рис. 1. Кинематическая схема сварочного робота

Таблица 1. Значения максимальных скоростей вращения для выполнения технологической задачи

Параметр	Степень подвижности		
	1	2	3
Максимальная расчетная скорость	109.29 град/с	104.61 град/с	104.61 град/с
Опорная скорость вращения руки	45 град/с	33 град/с	33 град/с
Скорость вращения вала двигателя	45 град/с	92 град/с	92 град/с

В продолжение работы планируется совершенствование системы позиционирования путем введения датчиков непосредственно вблизи шва. В настоящее время используются для этих элементов, либо магнитные датчики, либо оптические (светодиоды, лазеры и т. д.).

*Е.В. Силкина, студ.;
рук. М.Г. Марков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВОК

Лазерные технологические установки получили широкое распространение в производстве для резки, сверления, сварки, пайки, закалки, обработки поверхностей, маркировки, гравировки, микрообработки, импульсного лазерного напыления, литография, регулировки.

В данной работе рассматривается электрическая часть лазерных технологических установок. Цель работы – исследование характеристик лазерных излучателей, построение их математических моделей.

Как показала практика, реальные характеристики лазерного излучателя часто не соответствуют номинальным параметрам, поэтому актуальна задача контроля параметров излучателей.

В докладе будет представлена экспериментальная схема, для снятия как статических вольт-амперных характеристик исследуемых элементов, так и для регистрации их изменения во времени. Результаты измерений загружаются в компьютер по последовательному интерфейсу, сохраняются в виде текстовых файлов и обрабатываются в программе Mathcad.

Новизна результатов состоит в том, что предложенные простые технические средства позволяют не только проверять соответствие излучателей заявленным характеристикам, но и прогнозировать изменение их характеристик во времени и выявлять потенциально ненадежные экземпляры.

Построенные математические модели могут быть использованы при разработке и математическом моделировании источников питания твердотельных лазеров. В дальнейшем планируется разработать блок питания, учитывающий выявленные в работе особенности исследованных лазерных излучателей.

Предложенное измерительное устройство, после соответствующей доработки, может быть встроено в лазерное технологическое оборудование, обеспечить непрерывный контроль излучателя, своевременное выявление его деградации и сообщать о необходимости замены, что позволит обеспечить стабильное качество работы лазерной технологической установки.

В. А. Кадеров, М.В. Здорова, А.А. Широков, студ.;
рук. Б. С. Зечихин, д.т.н., проф.
(МАИ, г. Москва)

СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ МОЩНОСТЬЮ 500 КВА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО САМОЛЕТА

Летательные аппараты и бортовое электроэнергетическое оборудование с каждым годом совершенствуются и появляются новые концепции. В качестве примера можно привести концепцию полностью электрифицированного самолета, в которой использование гидравлических и пневматических систем сводится к минимуму, что подразумевает под собой увеличение потребления электрической энергии и рост мощности систем генерирования в сравнении с самолетами с повышенным уровнем электрификации [2]. По оценкам экспертов мощность канала генерирования полностью электрифицированного самолета должна достигать 500 кВА.

В настоящей работе приводится оценочный расчет синхронных генераторов, с электромагнитным и магнитоэлектрическим возбуждением, мощностью 500 кВА с частотой вращения 24000 об/мин [1]. По итогам предварительного расчета выбрана конструкция генератора с постоянными магнитами и на его основе проведены электромагнитный, механический и тепловой расчеты. Для подтверждения результатов проведен конечно-элементный анализ магнитных и тепловых полей.

К авиационным системам предъявляются высокие требования качества электроэнергии. Поэтому использование генератора для канала постоянного тока требует рассмотрения его совместно с силовым электронным преобразователем. С этой целью расчёт и конечно-элементный анализ генератора проводится совместно со статическим преобразователем. Также рассмотрена возможность создания синхронного генератора с электромагнитным возбуждением мощностью 500 кВА.

Библиографический список

1. **Журавлев, С. В., Зечихин, Б. С.** Автоматизированный расчёт синхронного генератора: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – М.: Изд-во МАИ, 2011. – 60 с.: ил.
2. **Электрический самолет: концепция и технологии / А. В. Лёвин, С. М. Мусин, С. А. Харитонов [и др.].** – Уфа: УГАТУ, 2014. – 388 с.

*К. Фане, студ.;
рук. А.В. Макаров, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В ГОРОДЕ КУЧАЛА (РЕСПУБЛИКА МАЛИ)

Республика Мали имеет площадь 1 241 231 км², население составляет более 18 млн. жителей. Мали полностью находится в зоне жаркого климата. Средняя годовая продолжительность солнечного света составляет 3600 часов, средняя температура – 27.3°C. Климат очень сухой в большей части страны.

Электроэнергетическая система Мали представляет собой взаимосвязанную сеть, обслуживающую 32 населенных пункта, включая столицу Бамако, и 28 изолированных тепловых электрических станций, работающими на угле. Ископаемые запасы углеводородов в стране отсутствуют. Гидроресурсы Мали также ограничены. Через две подстанции энергосистема Мали получают электроэнергию из республики Кот-д'Ивуар. Общая установленная мощность в 2018 г. составила 550,1 МВт. Надежным энергоснабжением обеспечены только 38 % населения.

Город Кучала представляет собой территориальную общину с населением 99,353 человека и площадью 18000 км². Кучала является вторым по величине городом и центром производства хлопка. Электроэнергией город обеспечивается от тепловой электростанции мощностью 10 МВт.

Переток мощности из республики Кот-д'Ивуара составляет 50 МВт, и ежегодно стоит более 300 млн. евро. Для снижения стоимости электроэнергии предлагается строительство национальной солнечной электрической станции для электроснабжения региона Кучала мощностью 50 МВт. Предполагаемая стоимость станции не превысит 70 млн. евро. Указанную станцию предполагается включить в энергосистему Мали через трансформаторную подстанцию 30/225kV мощностью 60 МВт, что обеспечит энергией другие регионы страны.

Библиографический список

1. worldpopulationreview.com/...mali-population
2. <https://www.worlddata.info/africa/mali/climate-gao.php>
3. <https://www.edm-sa.com.ml/index.php/2014-05-27-14-05-11>
4. <http://bamada.net/acces-a-leau-et-a-lelectricite-des-efforts-louables>
5. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Koutiala>

А.О. Орлов, студ.;
рук. В.С.Баженов, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УЗЛА УСТАНОВКИ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО

В настоящее время 80% монокристаллов кремния выращивают в промышленных установках, принцип действия которых основан на методе Чохральского. Опыт эксплуатации установки позволяет сделать вывод о том, что данный механизм имеет значительную кинематическую погрешность, а применяющиеся сальниковые уплотнения не обеспечивают надежной герметизации вакуумной камеры.

В выращенных монокристаллах наблюдается образование и размножение дислокаций различного типа. Для многих областей применения монокристаллов наличие дислокаций, особенно их скоплений, нежелательно. Термические напряжения, возникающие в процессе охлаждения слитка. Термические напряжения можно уменьшить подбором физических параметров теплового узла и условий выращивания, обеспечивающих уменьшение градиентов температуры в слитке в процессе выращивания и охлаждения.

Таким образом, анализ механизмов формирования структурного совершенства в выращиваемых монокристаллах позволяет сделать вывод, что он обусловлен, главным образом, несовершенством конструкции теплового узла ростового оборудования.

В связи с этим предлагается оптимизировать конструкции элементов теплового узла, для минимизации неравномерности и уровня температурных градиентов в выращиваемом слитке монокристалла. Одним из вариантов модернизации установки является замена сальникового уплотнителя магнитожидкостным герметизатором.

Данное техническое решение позволяет:

- возможность поддержания требуемого уровня вакуума на всём сроке технической эксплуатации;
- не требуют постоянного обслуживания и контроля;
- не подвергаются износу, в отличие от традиционных уплотнителей;
- так как уплотняющая среда — это жидкость, трения между вращающимися и стационарными деталями практически нет.

Библиографический список

1. **Сайкин, Михаил Сергеевич.** Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: монография / М.С. Сайкин. – С.-Петербург; М.; Краснодар: Лань, 2017.–136с. –ISBN 978-5-8114-2483-2.

СЕКЦИЯ 17

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

Председатели – д.т.н., профессор **Савельев В.А.**,
к.т.н., доцент **Макаров А.В.**

Секретарь – ст. преподаватель **Ушакова Н.В.**

*М. Г. Абрамова, студ.;
рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Электроэнергетика на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России на текущий момент не играет существенной роли в энергетической системе страны, обеспечивая менее 1% совокупного объема выработки электроэнергии. Тем не менее, Правительством РФ определены основные направления государственной политики, в рамках которых предусмотрено расширение использования объектов ВИЭ в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики [1].

Кризис – время экономить и повышать эффективность. Российские компании начали более внимательно присматриваться к возобновляемым источникам. Росатом планирует заняться строительством ветроэнергетических установок и инвестировать в этот бизнес 83 млрд руб. в 2018-2020 годах. Есть в России и уникальные разработки в области ВИЭ, которые пока не применяются нигде в мире. Речь идет о петротермальной энергетике – использовании тепловой энергии "сухих" горных пород земной коры для доставки ее на поверхность (с минимальными потерями) и последующей выработки электроэнергии и тепла. Это направление разрабатывается в России Фондом поддержки освоения и развития петротермальной энергетике "Термолитэнерго": уже подписаны соглашения почти с 50 субъектами РФ, планируется строительство первых станций [2].

Целью работы является оценка состояния ВИЭ на данный период в РФ и проводится анализ перспектив их дальнейшего развития.

Единственным правильным решением будет отбросить все сомнения и создавать масштабную и перспективную отрасль возобновляемой энергетики, набирать и развивать компетенции в этой области, встраиваться в глобальные производственные цепочки и быть одним из основных игроков на мировом рынке ВИЭ.

Библиографический список

1. **Развитие** альтернативной энергетики в России. [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.ranational.ru/sites/default/files/analytic_article.pdf.
2. **Четыре** сценария развития ВИЭ для России. [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://tass.ru/pmef-2016/article/3348989>.

И.И. Емелин, студ.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Большое влияние на процессы старения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена оказывают термические перегрузки изоляции. Зависимость температуры токопроводящей жилы (ТПЖ) кабеля от нагрузки, приведенная на рисунке, показывает, что при перегрузке $1,1I_{\text{длит.доп.}}$ температура ТПЖ составляет $106\text{ }^{\circ}\text{C}$. При таких температурах изменяются свойства полиэтилена и начинается размягчение материала [1,2]. При перегрузках $1,25I_{\text{длит.доп.}}$ ТПЖ нагревается до предельно допустимой температуры.

Предлагаемый в работе мониторинг температуры изоляции КЛ в составе задач АСУТП позволит определять ресурс изоляции, реализовать термическую защиту кабеля от перегрева и формировать информацию для оперативного распределения нагрузки или ее ограничения.

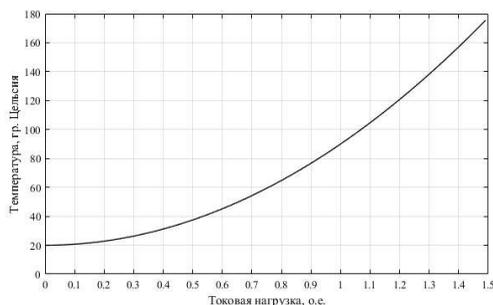


Рис. 1. Зависимость температуры кабеля от нагрузки при температуре окружающей среды 20°C

Библиографический список

1. **Поляков, Д.А.** Исследование процесса старения СПЭ-изоляции кабелей под воздействием температуры / Д.А. Поляков, К.И. Никитин, Д.А. Юрчук, Г.А. Кошук // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017. Материалы VIII международ. научно-техн. конф. – Самара: СамГТУ, 2017. – С. 261-264.

2. **Кучерявая, И.Н.** Факторы качества и надежности сшитого-полиэтиленовой изоляции силовых кабелей. – Киев: ин-т электродинамики НАН Украины, 2017. – № 48. – С. 94-104.

С.В.Смирнова, студ.;
рук. В.И.Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РОЛЬ И МЕСТО НАКОПИТЕЛЕЙ В СОЗДАНИИ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ВИЭ

Для энергоснабжения потребителей целесообразно использовать одновременно несколько видов возобновляемых источников энергии. Это повышает надежность снабжения и снижает топливную составляющую затрат. В связи с этим большой интерес представляют собой широко обсуждаемые в научной среде вопросы о роли и месте систем накопления электроэнергии на гибридных электростанциях. Такие виды станций не могут обеспечить потребителя «стабильной» электроэнергией. Поэтому, тема является актуальной.

В работе рассмотрены основные компоненты схем гибридных электростанций с различными возобновляемыми источниками энергии. На рис. 1 приведена гибридная станция с солнечными модулями и ветроустановкой.

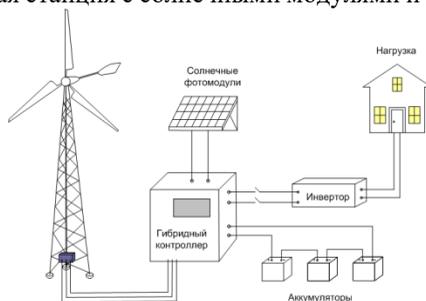


Рис.1. Схема гибридной станции с солнечными модулями и ветроэнергетической установкой

Приведены технические и экономические характеристики всех накопителей энергии. Определены наиболее подходящие их виды для установки на гибридных электростанциях с ВИЭ.

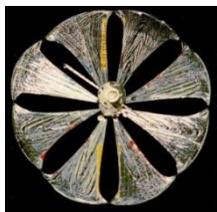
Библиографический список

1. **Накопители** электроэнергии АО «Единый оператор Единой энергосистемы» / Куликов Ю.А.
2. **Перспективы** использования гибридных энергетических установок на территории России / Василевский Н.С., Кувалдин А.Е.
3. **Кундас, С.П., Позняк, С.С., Шенец, Л.В.** Возобновляемые источники энергии – Минск: МГУ им А.Д. Сахарова, 2009. – 390 с.

*Е.В. Сочнев, студ.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАЖЁННОГО СОЛНЕЧНОГО СВЕТА ИЗ КОСМОСА ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Рассматривается идея использования отражённого солнечного света «для нужд народного хозяйства» и создания солнечных парусников (см. рисунок) как космических кораблей. Давление солнечного света в вакууме составляет 1 мкПа на квадратный метр. Однако при большой площади паруса и отсутствии силы трения в безвоздушном пространстве космический парусник может разогнаться до больших скоростей и достигать других планет без дополнительных двигателей.



Проведённый 04.02.93 года на корабле «Прогресс» эксперимент показал работоспособность идеи. На корабле был размещён металлический цилиндр мачты и свёрнутый в рулон отражатель. С раскрытого первого в мире космического зеркала изображение передавалось на Землю в Центр управления полётами. Светоотражающая полиэтилентерефталатная плёнка толщиной 5 мкм была развёрнута в космосе, а специальное гибкое кольцо обеспечивало 20-метровое круглое зеркало. «Прогресс М-15» шесть минут двигался вдоль границы, освещённой и тёмной сторонами Земли. За это время «солнечный зайчик» диаметром около 5 км пронёсся со скоростью 8 км/с от Франции до Белоруссии. Несмотря на облачность, освещённость «зайчика» составляла 1 люкс (1 люмен на кв. м). Это примерно свет от 60-ваттной лампы накаливания и сравнимо со светом полной Луны.

Если развернуть в космосе зеркало, которое направляло бы отражённый свет на небольшие наземные «светосборники», то можно освещать города в тёмное время суток. Со временем это может стать экономически выгодным. Технологически, как показал эксперимент – это выполнимо. Для окупаемости космическое зеркало должно быть очень больших размеров, но в принципе, это задача технически реализуема.

Рассмотренная идея может иметь большое хозяйственное значение, так как позволяет экономить электроэнергию, используя зеркало как эквивалент Луны, освещая населённые пункты в ночное время и в условиях полярной ночи.

Библиографический список

1. Арсентьева О. Космические зеркала тайны XX века. №3. 2019. – С. 4-5.

*С.Е. Фадеев, студ.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЦИФРОВАЯ РЭС: ФУНКЦИИ, ЗАДАЧИ И СТРУКТУРА

Цифровой РЭС – это высокоавтоматизированный район распределительных электрических сетей, управляемый в режиме реального времени и отслеживающий параметры и режимы работы всех участников процесса передачи и потребления электроэнергии.

Функции: обеспечение оперативного управления объектами; контроль за реализацией электрической энергии и учета потребления; мониторинг состояния сети в реальном времени; контроль передаваемой мощности и др.

Задачи: обеспечение кибербезопасности для внедряемых цифровых элементов сети и АСУТП; реализация систем телемеханики в условиях импортозамещения; обеспечение наблюдаемости и управляемости цифровыми системами связи и оборудованием, обеспечивающим поддержку протоколов МЭК; самодиагностика и самовосстановление после аварийного режима; определение места повреждения или повреждённого участка линий; визуализация диспетчеру текущего состояния сети и места аварии; автоматическое секционирование ВЛ при авариях и выполнении переключений.

Преимущества: быстрое и точное определение поврежденного участка; сокращение времени восстановления электроснабжения потребителя; возможность реализации в процессе реконструкции, повышенная управляемость сети.

Недостатки: слабая подготовка персонала к внедрению новых цифровых решений; проблема совместимости технических средств, выполненные разными производителями; реализация комплексных решений, требующие изменения инфраструктуры сети; большой износ оборудования, усложняющий внедрение цифровых технологий.

В докладе рассмотрена структура цифровой РЭС, проанализирована ее эффективность на примере конкретной РЭС. Предложены варианты практической реализации вышеуказанных функций.

*Д.Л. Фрог, студ.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИСПЫТАНИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Наиболее опасными повреждениями силовых трансформаторов являются внутренние повреждения обмоток. Одной из главных причин внутренних повреждений обмоток является недостаточная электродинамическая стойкость обмоток при коротких замыканиях (КЗ). По статистике для трансформаторов напряжением 110-500 кВ и мощностью 63 МВА и более на предприятиях распределительных и межсистемных сетей России около 30% от общего числа отключений оборудования связано с внутренними КЗ [1].

На сегодняшний день метод частотного анализа (МЧА) – наиболее чувствительный метод диагностики состояния обмоток силового трансформатора. С его помощью могут быть определены малейшие изменения механического состояния обмоток, возникающих при воздействии токов КЗ.

В данной работе в качестве объекта исследования был выбран силовой трансформатор мощностью 40МВА. Схема замещения трансформатора была составлена в математическом пакете Multisim с использованием блока BodePlotter. В результате моделирования КЗ катушек между собой можно отметить, что при увеличении числа короткозамкнутых катушек на частоте ~680 кГц наблюдается рост вогнутости графика передаточной функции и смещение пиков выпуклостей на частотах от 800 кГц до 2 МГц.

МЧА в настоящее время – один из наиболее перспективных методов диагностики. Усовершенствование метода позволит выявить дефекты на ранней стадии, определить их тип и место и упростит саму процедуру диагностики.

Библиографический список

1. **О повреждениях** обмоток силовых трансформаторов и диагностике их геометрии методом низковольтных импульсов / Хренников А.Ю., Рубцов А.В., Предельский В.А., Сафонов А.А., Якимов В.А. – ЭЛЕКТРО: Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2004, № 5.

*Д. А. Шарнова, студ.;
рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Надежность электроснабжения – это способность электрической системы обеспечивать присоединенных к ней потребителей электрической энергией заданного качества в любой интервал времени. При этом понятие надежности включает в себя как бесперебойность снабжения потребителей электроэнергией, так и ее качество – стабильность частоты и напряжения.

Известно, что в отдельных электрических системах в современных российских условиях число аварий достигает нескольких десятков в год, а годовой недоотпуск электрической энергии в результате аварий – миллионы кВтч.

Повреждение оборудования или сбой в его работе могут произойти, если допустимые нормы превышает величина искажения параметров электроэнергии, которые определяются по их продолжительности и величине.

Надежную работу потребителей, подключенных к электрической сети, может обеспечить только качественная электроэнергия. Низкое качество электроэнергии может повлечь за собой огромные расходы. Поэтому необходимо обеспечить потребителей бесперебойным питанием электроэнергией высокого качества.

Целью работы является ознакомление с различными мероприятиями по повышению надежности электроснабжения потребителей, благодаря которым возможно сократить число и длительности отключений. Следует отметить, что максимальный эффект от повышения надежности электроснабжения может быть получен при комплексном использовании различных мероприятий и средств. Их оптимальные сочетания определяются конкретными условиями.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: НИЦ ЭНАС, 2011.
2. **Надежность** электроснабжения и средства повышения ее уровня [Электронный ресурс]. – URL: <https://1004kv.ru/scheme/надежность-электроснабжения-и-средств/> (дата обращения: 24.12.2018).

К. С. Шашурин, маг.;
рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЦИФРОВЫЕ РЭС. ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ, КОНЦЕПЦИЯ. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТОЧКИ РОСТА

Российская энергетика переживает период изменений. Главным трендом, оказывающим влияние на развитие информационных систем в энергетике, является концепция Smart Grid. В этом направлении ожидается принятие числа важных законодательных актов.

В соответствии с концепцией Smart Grid в числе приоритетных направлений развития ИТ в энергетике можно выделить:

1. Широкое внедрение на новых и модернизируемых точках измерения интеллектуальных (smart) измерительных приборов — «умных» счетчиков с функцией дистанционного управления профилем нагрузки измеряемой линии и измерительных преобразователей со стандартными коммуникационными интерфейсами и протоколами, соответствующими стандартам информационной безопасности;

2. Установка на каждом крупном объекте, присоединенном к электросети, усовершенствованных автоматизированных информационно-измерительных систем (АИИС), работающих в режиме реального времени. АИИС должны осуществлять мониторинг процессов, выполнять простые алгоритмы автоматического регулирования и иметь развитые средства информационного обмена с внешним миром;

3. Создание широкой сети интегрированных коммуникаций на базе разнообразных линий связи — ВОЛС, спутниковых, GPRS, ВЧ-связи по ЛЭП и др. Каждая АИИС должна иметь связи как минимум по двум независимым каналам связи;

4. Внедрение в энергокомпаниях автоматизированных систем (АС) управления производственной деятельностью. Поскольку все энергопредприятия относятся к производствам с непрерывным циклом, можно выделить четыре вида таких систем: АС управления техническим обслуживанием и ремонтами; АС работы на рынках (коммерческой диспетчеризации); АС обслуживания клиентов; АС управления основным производством — генерацией, передачей, распределением, сбытом (учетом потребления) или диспетчеризацией;

5. Создание интегрированных интерфейсов к АИИС и АС управления производственной деятельностью для автоматического обмена данными с АС других участников рынка.

Библиографический список

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

*Н.С. Чумаков, студ.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В АРКТИКЕ

Освоение удалённых и малоизведанных территорий невозможно без энергоснабжения. Например, линии электропередачи для электроснабжения электроэнергией требуют высоких капиталовложений, поэтому остаётся вариант использовать собственные источники генерации. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН приводит статистические данные о неэффективности энергетической системы арктического региона, из-за высоких потерь при передаче электроэнергии до конечного потребителя. Отдельной проблемой является наличие северного завоза. Кроме того, степень износа основных средств генерирующего комплекса Арктики превышает 60%. Генерирующие мощности арктического региона должны быть полностью обновлены.

Основными документами, определяющими социально-экономическое развитие Арктики и ее энергетики, являются:

- основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу;
- стратегия социально-экономического развития Дальнего востока и Байкальского региона на период до 2025 года; Энергетическая стратегия России на период до 2030 года;
- генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года.

В этих условиях приоритет должен отдаваться энергоустановкам малой мощности (ЭУММ) с большой степенью адаптивности их технико-экономических характеристик и готовности к серийному применению. Одним из наиболее перспективных представителей ЭУММ для арктического региона являются атомные станции малой мощности (АСММ) в спектре мощностей от нескольких единиц до сотен МВт. Среди основных конкурентных преимуществ АСММ можно выделить: возможность модульной компоновки, что позволяет создавать станции любой установленной мощности, длительная работа без перезагрузки топлива («ядерная батарейка»), транспортабельность, относительно низкая себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Поэтому именно АСММ должны стать основой решения энергетических проблем арктических регионов и построения на территории России системы региональной малой энергетики.

СЕКЦИЯ 18

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

Председатель – к.т.н., доцент **Сулыненков И.Н.**

Секретарь – ст. преподаватель **Ушакова Н.В.**

М.А. Александров, студ.;
рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОНИТОРИНГ РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Утвержденные в рамках Приказа Минэнерго России от 25.10.2017 №1013 «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» (далее по тексту – Правила ТОиР) разработаны в соответствии с пунктом 2 статьи 28 Федерального закона от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» и п.1 постановления Правительства Российской Федерации от 02.03.2017 № 244 «О совершенствовании требований к обеспечению надежности и безопасности электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Утвержденные Правила ТОиР предусматривают возможность проведения субъектами электроэнергетики, как планово-предупредительного ремонта, так и ремонта по техническому состоянию. Проведение ТОиР по ТС направлено на повышение эффективности работы оборудования энергообъектов.

Рассмотрены методики определения сработанного и остаточного ресурса выключателей, которые позволяют реализовать систему мониторинга ресурса ВВ в режиме реального времени [2].

На данный момент извесины следующие системы мониторинга ВВ: ВДМ; Никта; АББ OLM2; ВСМ 200; КРУ-СЭЩ-70.

Однако, данные системы не являются универсальными и для решения реализации ТОиР по ТС следует сделать упор на проектирование/реконструкция каждого конкретного энергообъекта с учетом имеющихся технологий, поэтому разработка универсальной системы контроля за ресурсом ВВ остается актуальной.

Библиографический список

1. **Приказ** минэнерго россии от 25.10.2017 №1013: Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики.
2. **Анализ** методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей. Вестник ИГЭУ, Вып. 2, 2008. – С. 69-84.

В.Р. Басенко, В.А. Манахов, студ.;
рук. В.В. Максимов, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ

В определенных регионах России существуют благоприятные условия для внедрения электрогенерации на базе возобновляемых источников энергии (геотермальные установки, малые ГЭС и др.).

На месторождениях пароводяной смеси в вулканических районах - в России это Камчатка и Курильские острова - простейшим способом получения электроэнергии является использование противодавленческих паровых турбин. Энергоблоки с противодавленческими турбинами иногда используются при разработке геотермальных месторождений для привода буровых станков вместо дизелей, а также в качестве пусковых комплексов ГеоТЭС с последующей возможной заменой на конденсационные блоки. Такие турбины выпускаются в Японии, США, Италии.

Их мощность обычно не превышает 10 МВт. На Калужском турбинном заводе разработаны энергоблоки Омега-500 мощностью 0,5 МВт, Туман-2 (1,7 МВт), Туман-2,5 (2,5 МВт) и Туман-4к (4,0 МВт). Выработка ГеоТЭС средней мощности 6-23 МВт.

Мини-ГЭС в свою очередь обладают такими преимуществами, как экологическая безопасность, надёжность, низкая стоимость выработки электроэнергии, независимость от погодных условий, могут работать даже на маленьком потоке воды.

Внедрение объектов малой генерации в зоне децентрализованного энергоснабжения при использовании местных энергоресурсов, а также возобновляемых источников энергии способствует повышению эффективности развития энергосетевого хозяйства.

Библиографический список

1. **Технические науки** на службе созидания и прогресса: сб. статей Международной научно-практической конференции (1 декабря 2017 г., г. Самара). – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – 268 с.
2. <https://minenergo.gov.ru/node/1026>. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г.
3. http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf.

В.Р. Басенко, студ., М.Ф. Низамиев, к.т.н., доц.;
рук. И.В. Ившин, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Контроль технического состояния трансформаторов является эффективным методом повышения надёжности работы электрических подстанций. Вибрационный метод контроля технического состояния позволяет с высокой точностью выявлять отличительные признаки в колебаниях оборудования трансформаторов, связанных с неудовлетворительным состоянием прессовки обмоток и магнитопроводов.

Недостатками большинства методов вибрационного контроля трансформаторов являются:

- необходимость отключения;
- использование одного контактного датчика для регистрации параметров вибрации в 12 точках;
- методы обработки и анализа полученного сигнала.

Разработанный и созданный измерительно-диагностический комплекс на основе бесконтактных лазерных виброметров со специализированным программным обеспечением лишен данных недостатков. Лазерный виброметр бесконтактно регистрирует колебания на расстоянии до 30 метров и преобразовывает их в электрический сигнал, который поступает на многофункциональный модуль ввода-вывода, где оцифровывается и передается на ПК, с установленным программным обеспечением.

Программное обеспечение позволяет сравнивать спектры эталонного и контролируемого объекта с помощью целевых функций сравнения, характеризующих состояние опрессовки обмоток и магнитопровода трансформатора.

Библиографический список

1. **Низамиев, М.Ф.** Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев, И.В. Ившин, О.В. Владимиров, Ю.В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики №3-4, 2014. – С. 108-113.
2. **Петрухин, В.В.** Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие / В.В. Петрухин, С.В. Петрухин – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 176 с.
3. **Прыгунов, А.И.** Вибрационная динамика машин и виброакустическая диагностика / А.И. Прыгунов, А.Н. Папуша // Вестник МГТУ, Т. 1, 1998. – С. 21-27.

*Е.М. Букина, студ.;
рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В электроэнергетической отрасли назрела проблема создания системы технической диагностики, которая позволила бы решить задачу организации ремонтов электрооборудования в соответствии с его состоянием. Современная система диагностики должна быть системой раннего выявления развивающихся дефектов.

Для создания эффективной системы эксплуатационного контроля электрооборудования необходимо:

1. Обобщить и проанализировать опыт эксплуатации, выявить дефекты, приводящие к отказам, причины их возникновения и ход развития;

2. Определить наблюдаемые параметры (характеристики) оборудования, изменение которых связано с возникновением и развитием дефектов;

3. Выявить связи между значениями параметров и техническим состоянием оборудования; установить предельные значения параметров, характеризующие переход объекта в другой класс технических состояний;

4. Разработать методы измерения этих параметров в условиях эксплуатации, выявить источники помех, определить реально выявляемые изменения параметров (чувствительность метода измерения);

5. Исходя из взаимосвязи изменений совокупности наблюдаемых параметров и технического состояния оборудования, определить объем и периодичность испытаний, а также их последовательность (алгоритм контроля);

6. Установить критерии браковки, учитывающие всю совокупность наблюдаемых изменений технического состояния, оценку их тенденций и условий эксплуатации.

Библиографический список

1. **Косолапов, А.Б.** Система технической диагностики электротехнических комплексов // Успехи современного естествознания, 2005. – № 2.

2. **Назарычев, А.Н.** Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию // Надежность либерализованных систем энергетики / Под ред. Н.И. Воропая, А.Д. Тевяшева. – Новосибирск: Наука, 2004. – С. 173-189.

О.В. Жердев,
рук. О.И. Лаптев, к.т.н.
(НГТУ, г. Новосибирск)

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6-10 КВ НА СТОЙКОСТЬ К ФЕРРОРЕЗОНАНСУ

Измерительные трансформаторы напряжения (ТН) подвержены повреждениям из-за возникновения феррорезонансных процессов. Феррорезонанс – это устойчивый колебательный процесс в контуре, содержащем нелинейную индуктивность и ёмкость. Это явление достаточно хорошо изучено [1-3] и разработано большое количество технических мер по предотвращению этого явления.

В связи с предстоящим выходом нового стандарта, большинство производителей ТН разрабатывает установки для проведения испытаний ТН на стойкость к феррорезонансу. Разработка такой установки связана с рядом технических сложностей, решение которых в настоящее время является актуальной задачей.

Схема испытательной установки должна воспроизводить сеть с изолированной нейтралью и иметь возможность воспроизводить однофазное замыкание на землю. За основу была взята модель сети 10 кВ, приведенная в [2].

Для создания установки использовалось следующее оборудование: конденсаторы ИМН-100-0,1 (100 кВ, 0,1 мкФ); трёхфазные регуляторы напряжения РНТ-220-6; силовой трансформатор ТМ-25/10; испытываемые трансформаторы – НТМИ-6-66, НАМИ-6-95;

Были рассчитаны параметры испытательной установки и характеристики намагничивания для испытываемых ТН. Испытательная установка была смоделирована в пакете MATLAB/Simulink. Опытные и расчетные осциллограммы процессов в ТН в испытательной установке хорошо согласуются, что говорит о достоверности математических моделей.

Таким образом, установка для испытания ТН на стойкость к феррорезонансу была успешно создана и опробована на практике.

Библиографический список

1. **Алексеев, В.Г.** Феррорезонанс в сетях 6-10 кВ / Алексеев В.Г., Зихерман М.Х. // Электрические станции, 1979. – №1. – С.63-65.
2. **Дударев, Л. Е.** Численный анализ феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью / Дударев Л. Е., Волошек И. В. // Электрические станции, 1991. – №4. – С. 66-71.
3. **Лавров, Ю.А., Лаптев, О.И.** Современные антирезонансные трансформаторы напряжения // Новости электротехники. 2009. – № 5 (59). – С. 2–5.

Л.В.Иванова, студ.;
рук. В.А.Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ДЛЯ МОСТИКОВЫХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Катодная защита является одним из способов электрохимической защиты от ржавления металлических элементов: подземных нефтепроводов и газопроводов; трубопроводов водоснабжения и теплосетей; оболочек электрических кабелей; крупных металлических резервуаров; подземных сооружений; судов от коррозии в воде; стальной арматуры в фундаментах и железобетонных сваях. Принцип работы рассмотрен на примере защиты на трубопроводах (см. рис. 1).

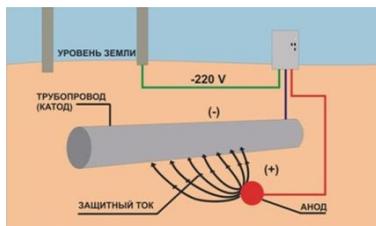


Рис. 1. Катодная защита трубопровода

Источниками питания для катодной защиты трубопроводов обычно являются воздушные линии напряжением 0,4; 6 и 10 кВ. Там, где линий нет, в качестве источников электроэнергии используются газо-, термо- и дизель-генераторы. Для защиты трубопроводов вдоль трассы устанавливаются станции (СКЗ). Они включают в себя: анодное заземление; источник тока; пункт контроля и измерения; кабели и провода, выполняющие соединительные функции.

В работе рассматриваются проблемы и возможные пути комплексной структуры построения, стабилизации режимов работы и возможной интеллектуализации СКЗ. Это позволит повысить надежность работы защиты и снизить расход электроэнергии на защиту.

Библиографический список

1. **СТО ГАЗПРОМ** газораспределение 5.2-1-2013: Требования к оборудованию систем противокоррозионной защиты сетей газораспределения, – С.-Петербург, 2013.

*А.В. Комаров, студ.;
рук. Н.Б. Ильичев
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИМЭС ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Проектирование электрической части станций и подстанций связано с выполнением больших объемов инженерных расчетов разного назначения, расчет установившихся режимов (УР) для оценки степени загрузки оборудования в основных и ремонтных режимах, расчеты токов коротких замыкания (ТКЗ) для проверки оборудования по стойкости и выбора релейных защит, технико-экономические расчеты (ТЭР) для выполнения технико-экономического сравнения вариантов схем, расчеты структурной надежности, расчеты пусков и самозапусков асинхронных двигателей и др.

В данной работе предлагается использовать ПО СИМЭС, разработанное ООО «ЭСЛ». Преимуществом этого ПО перед другими является то, что в одной оболочке объединены сразу несколько расчетных модулей, для расчета УР, ТКЗ, и ТЭР, при этом оно открыто для подключения новых расчетных модулей в будущем (например, расчета самозапуска или структурно надежности с оценкой ущерба).

Применение ПО, использующего информационное моделирование электрической системы, связано с разработкой новой технологии проектирования, основанной на единой модели.

Проектирование должно осуществляться на основе единой модели главной схемы и схемы собственных нужд, которая формируется на ранних стадиях проектирования для каждого варианта. Тогда можно оценить технические решения и технико-экономические расчеты могут выполняться с минимальными трудозатратами и наиболее глубокой проработкой каждого технического решения проекта. Документирование результатов проектных решений также будет осуществляться с минимальными трудозатратами.

Основной ожидаемый эффект от применения предлагаемой технологии состоит в сокращении технических ошибок при проектировании сокращении трудозатрат проектировщика, более глубокой проработки проектных решений и общего повышения качества проектирования. В учебном процессе такой подход позволяет перейти от изучения методов расчета к изучению эффектов проектирования, пониманию зависимости полученного результата от принятых решений.

*А.Х.Мардыханов, соиск.;
рук. В.Н.Шарифуллин, д.т.н., проф.
(КГЭУ, Казань)*

МЕТОДИКА ПОИСКА КОМПРОМИСНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАСКАДА ГЭС

Гидроэлектростанции играют заметную роль в обеспечении оптимального и надежного электроснабжения всех отраслей. Высокая надежность работы электросилового оборудования, высокая производительность труда, отсутствие транспортных операций по перевозкам топлива, высокая маневренность и быстрота выполнения операций по пуску и останову гидроагрегатов – все это делает гидроэлектростанции, по существу, незаменимыми источниками энергоснабжения.

Работа ГЭС не ограничивается интересами исключительно энергетической системы (выработка электроэнергии, регулирование частоты электрического тока и покрытие переменной части графиков нагрузки и др.), оно имеет многоцелевое использование [1]. В рамках деятельности каскада ГЭС либо отдельных ГЭС в том числе обеспечиваются интересы следующих систем: экологии, сельского хозяйства, коммунального и промышленного водоснабжения, речного транспорта (грузового и пассажирского), рыбного хозяйства и др.

Разработана методика моделирования и оптимизации режимов функционирования каскада ГЭС в условиях обеспечения потребностей энергетических и водохозяйственных систем на примере Волжско-Камского каскада гидроэлектростанций. Полученное распределение воды и уровней можно считать компромиссным решением задачи многокритериальной оптимизации.

На основе представленной методики разработан программный комплекс, функционирующий в сети интернет по адресу <http://www.hydrocascade.com>. Данное программное решение позволяет в короткие сроки проводить оптимизационные расчеты и выводить результаты расчетов в интуитивно-понятном графическом интерфейсе.

Библиографический список

1. Мардыханов, А.Х., Шарифуллин, В.Н. Программный комплекс оптимального планирования суточной нагрузки ГЭС. Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, №3-4, 2012.

*Н.К. Швецов, Д.А. Полкошников, ст. преп., А.А. Сидоров, студ.;
рук. Е.М. Новоселов, соиск., А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время в системах собственных нужд электростанций широкое распространение получили асинхронные двигатели (АД). Одной из неисправностей таких АД является динамический эксцентриситет (ДЭ) ротора. Эксцентриситет оценивается величиной неравномерности воздушного зазора АД, и его норма не должна превышать 10% [1].

Согласно [2] гармоники от динамического эксцентриситета 1-го порядка 1+ и 1- (ГДЭ) присутствуют не только во внутреннем, но и во внешнем магнитном поле (МП) АД. Если бы были известны зависимости величины ДЭ от амплитуд ГДЭ, присутствующими во внешнем МП, то на их базе можно было бы разработать удобный и достаточно точный способ определения величины ДЭ.

Для нахождения данных зависимостей в программном комплексе Ansys построена модель АД марки АИР71А6, которая позволяет моделировать внешнее МП машины при ее исправном состоянии и при различной величине ДЭ ротора. Для регистрации внешнего МП был установлен датчик, который расположен на корпусе машины.

Полученные при моделировании сигналы обработаны в программном комплексе MatLab и определены зависимости между уровнем ДЭ и величинами амплитуд ГДЭ (рис.1). Их анализ показал, что данные зависимости близки к прямопропорциональным.

Результаты проделанной работы могут быть использованы при создании метода контроля ДЭ ротора АД по внешнему МП.

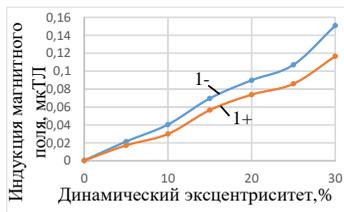


Рис. 1. Зависимость значений амплитуд ГДЭ первого порядка (1+ и 1-) от величины ДЭ

Библиографический список

1. **Объем** и нормы испытаний электрооборудования СО 34.45-51.300-97 РД 34.45-51.300-97. – Введ. 08.09.1997. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2014. – 256 с.
2. **Назарычев, А.Н.** [и др.]. Оценка достоверности определения скольжения асинхронных электродвигателей по гармоникам эксцентриситета ротора // Вестник ИГЭУ, 2015. – Вып. 3. – С. 44-51.

Страхов А.С., асп.;
рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВНУТРЕННЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ПУСКОВОМ РЕЖИМЕ

В настоящее время при проведении контроля состояния узлов асинхронных двигателей (АД) в качестве регистрируемых принимаются ток статора, внешнее магнитное и ряд других сигналов. При этом контроль осуществляется в стационарном режиме работы АД, не смотря на тот факт, что контроль в пусковых режимах имеет ряд преимуществ. Прежде чем исследовать поведения тока статора и внешнего магнитного поля машины при возникновении того или иного вида повреждения, необходимо сначала изучить сигналы внутреннего магнитного поля (ВМП), поскольку на этих сигналах гармоники, характеризующие наличие дефектов, проявляются наиболее отчетливо. Целью данной статьи является анализ сигналов ВМП при пуске АД при наличии или отсутствии оборванных стержней обмотки ротора (ОР).

Исследования проводились на экспериментальном стенде, подробно описанном в [1]. Регистрация ВМП производилась внутренним индуктивным датчиком. Для возможности проведения анализа сигналов внутреннего магнитного поля двигателя АИР71А6 в режиме пуска, его время пуска было искусственно увеличено путем подачи низкого напряжения на обмотку статора через автотрансформатор. В программном комплексе MatLab произведена обработка зарегистрированного сигнала и получены его спектры при исправной ОР и ОР с одним оборванным стержнем.

Изучение данных спектров показало, что при обрыве одного стержня амплитуды гармонических составляющих, характеризующих наличие неисправности, значительно выше, чем в установившемся режиме в течение всего процесса пуска двигателя. В дальнейшем планируется проведение аналогичных исследований, связанных с внешним магнитным полем АД.

Библиографический список

1. **Новоселов, Е.М.** Оценка возможности использования радиальной составляющей внешнего магнитного поля в целях диагностики асинхронных электродвигателей / Е.М. Новоселов, В.А. Савельев, А.А. Скоробогатов, А.С. Страхов, И.Н. Сулыненков // Вестник ИГЭУ. – Иваново, 2018. – Вып. 3. – С. 38–46.

*Т.С. Смурова, студ.;
рук. И.Н. Сульниенков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Ранее в работах авторов доклада было показано, что существует множество различных методик определения индекса технического состояния оборудования (ИТС). Так же было произведено сравнение некоторых из них, а именно методики, утвержденной Минэнерго (далее – методика 1) и методики, предложенной одной из сетевых компаний (методика 2). Целью данной работы являлось сопоставление методик. Для этого произведены расчеты ИТС для тестового объекта (линии электропередачи) с использованием одинаковых исходных данных.

На первом шаге было установлено, что простое сопоставление методик невозможно. Общее количество критериев в методике 1 составляет 231, а в методике 2 – 51. Наряду с разницей в количестве критериев, в методиках в ряде случаев не совпадают сами критерии. Поэтому было принято решение произвести два типа расчета ИТС. В первом случае критерии оценки, различающиеся в методиках, принимались равным наилучшим значениям, а во втором – наихудшим. Схожие критерии в обоих случаях имели одинаковые значения.

На втором шаге была устранена разница в определении итоговых значений ИТС. Хотя в обеих методиках ИТС находится в диапазоне от 0 до 100, но в методике 1 наилучшим значением является 100, а в методике 2 – 0. Для корректного сопоставления принято считать наилучшее значение ИТС равным 100, при этом производить пересчет к новой шкале результаты, полученные по второй методике.

В работе произведены многовариантные расчеты ИТС обеими методиками. Для расчета ИТС был разработан автоматизированный инструмент на основе программы Microsoft Excel, что значительно сократило время расчетов и позволило провести их с различными исходными данными. В докладе показано, что в первой группе расчетов различие в результатах оценки ИТС для методик составило 20%, во второй – 50 %. При этом качественные характеристики технического состояния объекта могли значительно отличаться. Например, для одной методики линия электропередачи могла находиться в очень хорошем состоянии, а для других – в хорошем или удовлетворительном. Стоит заметить, что результаты расчета ИТС обеими методиками значительно отличаются друг от друга. Поэтому направлением дальнейшей работы является анализ причин такого значительного расхождения в результатах расчетов.

А.Д. Чистяков, студ.;
рук. И.Н. Сулыненков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОСТИКОВЫХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящее время на проходных подстанциях с малым числом присоединений напряжением 110 и 220 кВ широкое применение получили мостиковые схемы с неавтоматической ремонтной перемычкой. Для новых и реконструируемых подстанций стандартами ПАО «Россети» установка ремонтной перемычки предусматривается только при соответствующем обосновании. При этом вопрос области применения ремонтных перемычек в этих схемах не решен.

В работе предложено произвести обоснование применения варианта схемы путем оценки затрат. Они определялись как разница между стоимостью элементов схем и издержками, возникающими в течение срока окупаемости. Отрицательное значение разницы затрат выбрано в качестве критерия установки ремонтной перемычки.

Основной частью издержек является ущерб от отключений. Он состоит из двух составляющих: потребительской, когда происходит одновременное отключение обоих трансформаторов подстанции, и системной, обусловленной изменением потерь в линиях и ограничением перетока мощности. В работе произведен расчет ущерба таблично-логическим методом, составлены таблицы надежности для вариантов схем с перемычкой и без неё, по которым получены выражения для расчета разности ущерба. На основании этих данных произведена оценка влияния отдельных составляющих ущерба и выведены итоговые формулы для расчета разницы затрат.

Выявлено, что целесообразность применения перемычки в мостиковых схемах обусловлена, прежде всего, системной составляющей ущерба. Разработаны номограммы, позволяющие принять решение о необходимости установки перемычек при проектировании подстанций 110 и 220 кВ. Установлены предельные значения (табл. 1) параметров, при которых применение перемычки не целесообразно.

Таблица 1. Границы применения мостиковых схем с ремонтными перемычками

Номер схемы	Граница не применимости ремонтной перемычки в зависимости от класса напряжения и значений основных параметров			
	110 кВ		220 кВ	
	$y_c/\Delta K$	ΔP_n , МВт	$y_c/\Delta K$	ΔP_n , МВт
5Н	$0,013 \cdot 10^{-4}$	0,14	$0,045 \cdot 10^{-5}$	0,37
5АН	$0,04 \cdot 10^{-4}$	0,41	$0,134 \cdot 10^{-5}$	1,1

Примечание: y_c – удельный системный ущерб; ΔP_n – изменение потерь в линиях при ограничении перетока мощности ΔK – разница капиталовложений на сооружение схем.

*Д.С. Корнилов, ст. преп., А.С. Страхов, асп., Н.С. Чумаков, студ.;
рук. Е.М. Новоселов, соиск., А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

В настоящее время среди научных работ и публикаций, связанных с диагностикой асинхронных электродвигателей (АД), большое внимание уделяется созданию математических моделей (ММ) в программном комплексе ANSYS. При этом авторы большинства работ занимаются разработкой лишь ММ низковольтных АД, несмотря на тот факт, что в качестве приводов механизмов собственных нужд электростанций часто используются высоковольтные АД. Поэтому целью данной работы является создание ММ высоковольтного АД и доказательство её состоятельности.

В ходе работы для исследования был выбран высоковольтный АД типа ДАЗО2-17-44-8/10У1, установленный на одной из ТЭЦ г. Иваново. Параметры двигателя приведены в табл. 1. По данным, полученным из технической документации электростанции, была построена модель в программном модуле RMxprt, предназначенном для вычисления рабочих характеристик машины, после чего на её основе разработана модель в Maxwell 2D, предназначенная для расчёта магнитных полей и моделирования неисправностей.

Таблица 1. **Параметры исследуемого асинхронного двигателя**

Тип двигателя	Число пар полюсов	Номинальная частота вращения, об/мин	Номинальная мощность, кВт	Напряжение, кВ
ДАЗО2-17-44-8/10У1	8/10	741/594	630/320	6

Для проверки корректности ММ проведено сравнение паспортных данных и данных, полученных из модели. В результате сравнения было установлено, что параметры АД, полученные при расчёте на ММ, достаточно близки к их паспортным значениям, что позволяет говорить о состоятельности разработанной модели.

В дальнейшем разработанную ММ планируется использовать для обнаружения повреждений узлов АД, а также для оптимизации работы АД на электростанции, что позволит продлить их срок службы и предотвратить аварии, связанные с их отказом.

Н. И. Эрдили, асп.;
рук. А. В. Шалухо, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексева», г. Н. Новгород)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ «ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ»

Современные технологии позволяют агрегировать в единую систему источники, расположенные на удалении друг от друга. Это технологии микрогрид и виртуальных электростанций (ВиЭС) [1].

За рубежом уже существуют примеры объединения ВИЭ с помощью технологий микрогрид и ВиЭС.

В России технологии Микрогрид и ВиЭС поддерживаются в рамках Национальной технологической инициативы Российской Федерации EnergyNet. С учетом особенностей российской энергетики перспективной областью их внедрения являются автономные системы электроснабжения с ВИЭ. Актуальной задачей при этом является разработка алгоритмов функционирования таких систем. Основная особенность ВиЭС – возможность энергообмена.

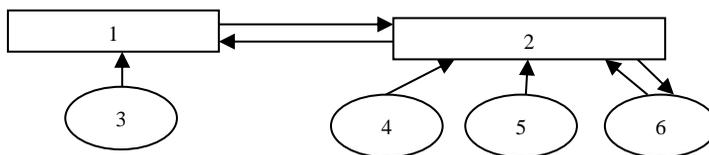


Рис. 1. Структурная схема системы электроснабжения, объединяющая автономные объекты с ВИЭ, входящие в состав ВиЭС: 1 - поселок с фермерским хозяйством; 2 - поселок с деревообрабатывающим предприятием; 3 – газопоршневая установка; 4 – дизель-генератор; 5- ветроэнергетическая установка; 6 – аккумуляторная батарея

Авторами разработан алгоритм взаимодействия объектов, входящих в состав ВиЭС. Сформулированы условия обмена мощностью между двумя объектами (рис.1), входящими в состав ВиЭС. Согласно алгоритму, происходит обмен излишками мощности между объектом №1 и объектом №2. Для апробации предложенного подхода в программном комплексе LabVIEW разработана имитационная модель исследуемой системы электроснабжения.

Библиографический список

1. **Вопросы** создания виртуальных электростанций в масштабе MICRO-GRID [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-sozdaniya-virtualnyh-elektrostantsiy-v-masshtabe-micro-grid> (дата обращения: 27.12.2018).

*А.В. Юдин, А.А. Илинбаев, студ.; В.Р. Иванова, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

В настоящее время существует потребность в большом количестве электроэнергии в связи с приходом в абсолютно все сферы нашей жизни большого количества электронных устройств.

«Одним из самых привлекательных и перспективных возобновляемых источников энергии всегда считалась фотовольтаика, т.е. прямое преобразование солнечной энергии в электрическую» [1]. Все это вызвано общедоступностью, простотой и огромным потенциалом солнечной энергетики. Солнце – одна из звезд нашей галактики и единственная звезда нашей солнечной системы. Ежегодно Солнце извергает в межзвездное пространство порядка $5,44 \cdot 10^{24}$ Дж энергии. На верхней границе атмосфера земли инсоляция равна 1353 Вт/м^2 . Это так называемая солнечная постоянная I_0 .

Для Нижнего Новгорода (координаты 56.4397, 44.9725) средняя величина суммарной солнечной радиации, приходящейся на горизонтально расположенный фотоэлектрический модуль, в течение года составляет $2,91 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$. Интенсивность облучения зависит от угла падения солнечных лучей на поверхность фотоэлектрического модуля. Применение систем слежения позволит изменять положение панелей в зависимости от расположения солнца, что в свою очередь позволит увеличить эффективность их работы. Согласно таблицам Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA), при оптимальном угле наклона панелей относительно поверхности земли солнечная инсоляция на территории Нижнего Новгорода составит $3,55 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$. Из этого следует, что эффективность отбора мощности увеличится более чем на 20%. Но изменение угла наклона панелей относительно горизонта не единственный способ увеличения эффективности их работы. Вращение фотоэлектрических модулей вокруг полярной оси в течение дня позволяет увеличить эффективность их работы на 30%. Однако применение двух осевых систем слежения приводит к существенному усложнению и удорожанию конструкции фотоэлектрических модулей. С учетом того, что положение солнца относительно горизонта в течение года меняется, не так сильно, как положение солнца в течение дня, то оптимальным вариантом будет применение одноосной системы слежения, а угол наклона панелей относительно горизонта выставлять вручную раз в 2 месяца.

*А.В. Юдин, А.А. Илинбаев, студ.; В.Р. Иванова, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

С каждым этапом развития человечеству необходимо все больше и больше энергии в том или ином ее виде. Увеличивающиеся потребности и развитие современных технологий влечет за собой появление все более перспективных способов добычи электроэнергии, один из которых – это фотовольтаика, т.е. прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Процесс получения энергии с помощью солнечных батарей является достаточно молодой технологией, появившейся в начале 70-х годов прошлого столетия. Установилось устойчивое мнение, что именно солнечная энергия является самым экологически чистым источником энергии среди доступных современному человечеству. Однако если углубиться в изучение оказываемого влияния процесса производства и использования солнечных батарей на окружающую среду и экологическую обстановку, то станет ясно – из-за большого объема производства данный способ получения энергии не является настолько безопасным, как считается. Данный процесс требует колоссальной площади занимаемой территории на единицу получаемой солнечной энергии. Также поскольку производство солнечных батарей предусматривает использование токсичных газов, коррозионных жидкостей, опасных летучих веществ, то в данном случае возникает вопрос защиты труда и влияния данного производства на окружающую среду. По сведениям американских экологов, стало известно, что в процессе производства солнечных батарей используется до 80% общемирового объема свинца. Следующая проблема - утечка из отслуживших солнечных батарей вредных для здоровья и окружающей среды веществ, которая в долгосрочной перспективе может подвергнуть опасности здоровье людей в близлежащих районах и сохранность водных и почвенных покровов.

Однако, мировая общественность, национальные торговые организации и экологические ассоциации активно работают над вопросом предотвращения негативного влияния на окружающую среду и сокращения использования в производстве природных ресурсов. Кроме того, международными исследовательскими группами разработана добровольная программа для производителей солнечных батарей, в соответствии с которой компании регулярно отслеживают количество выбросов на производстве и эксплуатации своего продукта и предоставляют данные для дальнейших исследований.

*П.А. Зубов, маг.; рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Эффективность работы электрических станций во многом определяется эффективностью работы системы собственных нужд.

В процессе эксплуатации возникают вопросы по поводу снижения технико-экономических показателей агрегата собственных нужд в целом (например, увеличение потребляемой мощности при той же величине полезной мощности на валу рабочей машины). Ответ на вопрос «кто виноват?», рабочая машина или электродвигатель, весьма затруднителен на работающем агрегате, необходим останов агрегата, тщательный анализ состояния, дополнительные измерения, испытания. Все это потребует значительного времени, что не всегда возможно в условиях напряженной эксплуатации. Существующие системы и методы оценки технического состояния внедрены, прежде всего, для электротехнического оборудования (для электродвигателей в том числе). Однако, известные методы построения рабочих характеристик асинхронных электродвигателей, чаще всего используемых в качестве привода рабочих машин, могут с большой точностью подтвердить сам факт ухудшения технического состояния агрегата в целом. Наличие комплексной системы оценки состояния электродвигателя, подтверждающая исправность последнего, фактически определит ухудшение технического состояния рабочей машины.

Процесс построения рабочих характеристик требует затрат времени, но при сохранении агрегата в работе. В этой связи в качестве экспресс-анализа технического состояния агрегата могут быть использованы полученные экспериментальным путем механической характеристики электродвигателя и рабочей машины. Ухудшение этих характеристик при периодическом их построении однозначно даст ответ о существующих проблемах либо двигателя, либо рабочей машины, что позволит принять правильное техническое воздействие.

Библиографический список

1. Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1983.

2. Проектирование системы собственных нужд с учетом требований эксплуатации. МУ к самостоятельной работе/ Калачева О.Н., Лапшин В.М. – Иваново, 2010

*Е.Г. Сопин, маг.; рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ВНОВЬ ВВОДИМЫХ ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

Определение мощности силовых трансформаторов на двухтрансформаторных подстанциях связано с решением двух принципиальных задач: обеспечением оптимальной загрузки трансформаторов в длительном режиме и обеспечением нагрузочной способности оставшегося в работе трансформатора при отключении второго.

Проблема осложнилась в связи с введением двух нормативных документов [1] и [2].

В соответствии с [1] степень загрузки вводимых после строительства объектов для каждого трансформатора определяется по формуле:

$$K_{загр}^{треб} = \frac{S_{ном}^{эфф}}{S_{ном}^{факт}} \quad (1)$$

где $S_{ном}^{факт}$ – фактическая номинальная мощность установленного силового трансформатора; $S_{ном}^{эфф}$ – требуемая номинальная мощность трансформатора.

Определенное по выражению (1) значение степени загрузки трансформаторов в соответствии с [2] используется при расчете тарифов на услуги по передаче электроэнергии. Следует отметить, что методика определения $S_{ном}^{эфф}$ предполагает многообразную информацию по будущим потребителям электроэнергии: мощность, характер нагрузки, период подключения. Таким образом, проектная организация должна обладать всей исчерпывающей информацией. В последнее время согласованность действий заказчика и проектировщиков нарушается. Известны случаи, когда в техническом задании на проектирование уже указана номинальная мощность трансформаторов и предпочтительный тип электротехнического оборудования. Именно такая практика и приводит к неэффективной загрузке трансформаторов в процессе эксплуатации. Сравнительные расчеты подтверждают эту тревожную тенденцию и показывают пути выхода из нее.

Библиографический список

1. **Приказ** Министерства энергетики РФ №250 от 06 мая 2014 года.
2. **Приказ** Федеральной службы по тарифам №2390-э от 24 декабря 2014 года.

И.М. Сорокин, А.С. Поправко, маг.;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ КАК ОБЪЕКТ НОРМАТИВНО – ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Развитая система нормативного регулирования технологической деятельности является условием нормального функционирования энергосистемы и эффективной работы отрасли. В настоящее время в российской электроэнергетике активно идет процесс становления новой системы нормативно-технического регулирования, отражающей кардинальные изменения, произошедшие в отрасли за последние годы.

В период деятельности ОАО РАО «ЕЭС России» в отрасли в основном была сохранена система нормативно-технического обеспечения, разработанная во времена Советского Союза.

Отправной точкой реформы законодательства о техническом регулировании стало принятие в 2002 г. Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании», основными принципами системы технического регулирования стали: технические регламенты, стандартизация, подтверждение соответствия, государственный контроль (надзор). При этом применение любых документов по стандартизации, включая национальные стандарты и стандарты организаций, носит добровольный характер. Мониторинг правоприменительной практики показал неэффективность механизма принятия технических регламентов, связанную с затягиванием согласования документов на межведомственном уровне. В электроэнергетике требуется переход от механизмов добровольного регулирования в отрасли к системе общеобязательных требований, которые призваны обеспечить скоординированное выполнение требований, технических и организационных мероприятий в отношении всех и каждого элементов энергосистемы.

Указанные подходы приобретают строгие нормативные очертания с выходом в свет Постановления Правительства РФ от 13 августа 2018 г. №937 «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

Библиографический список

1. **Ляхно, П.Г.** Энергетическое право в Российской Федерации: становление и развитие. – М.: Изд-во Московского университета, 2014.
2. **Павлушко, С.А.** Становление новой системы нормативного регулирования в российской электроэнергетике. Энергия единой сети, №4(27), 2016

*Ф.С. Парамонов, студ.;
рук. Н.Б. Ильичев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОГО РАСЧЕТА НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Схема сети собственных нужд ТЭС может содержать потребители постоянного и переменного тока, требующие обеспечения гарантированного питания имеют вид, представленный на рис. 1. При проектировании электрических сетей такого класса возникает необходимость комплексного расчета таких сетей, то есть определение распределения токов и напряжений в нормальном режиме, определение токов и напряжений при пусках двигателей, а также расчеты токов короткого замыкания для проверки стойкости электрооборудования и проверки чувствительности защитных аппаратов.

Проблема расчета установившихся и аварийных режимов данных сетей заключается в том, что схема содержит существенно нелинейные элементы, такие как преобразователях рода тока ВУ (выпрямительное устройство) и ИУ (инвертирующее устройство), которые не позволяют составить единую схему замещения как линейных элементов сети.

В данной работе предлагается решение данной проблемы, путем применения топологического метода расчета сети с ее разделением на участки, отличные друг от друга по роду тока. Расчет сети выполняется итерационно, на каждой итерации рассматриваются 2 прохода. Сначала от источников питания к потребителям, а затем от потребителей к источникам питания. При этом преобразователи рода тока на каждом проходе рассматриваются либо в качестве электроприемников (со стороны системы), либо в качестве источников питания (со стороны потребителей), в зависимости от направления расчета. При этом учитывается то, что преобразователи в своем составе могут содержать реальные или фиктивные трансформаторы с возможностью регулирования напряжения и ограничения тока. Аккумуляторная батарея при этом рассматривается либо, как потребитель, либо, как источник тока, в зависимости от отношения между собственной ЭДС и напряжением на клеммах. Расчет токов КЗ производится для всех точек схемы с учетом подпиток от системы и от аккумуляторной батареи.

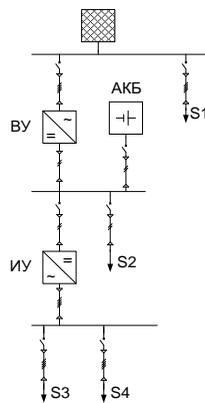


Рис. 1. Схема сети СН

СЕКЦИЯ 19

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Председатель – к.т.н., доцент **Словесный С.А.**

Секретарь – к.т.н., доцент **Шадриков Т.Е.**

Г.В. Аверьянов, И.В. Татаринов, студ.;
рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВАМТО), г. С.-Петербург)

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРО - И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ

Оценка и мониторинг состояния изоляции в реальных условиях функционирования системы электроснабжения, включающих различные режимы работы, является актуальной и сложной задачей. На надежность работы СЭС, электро- и пожаробезопасность электрооборудования существенно влияют нештатные режимы работы, предаварийные и аварийные режимы и старение изоляции. В связи с этим важна оценка состояния изоляции распределительной сети в режиме реального времени.

Использование разработанной принципиально новой системы контроля состояния изоляции в сетях с глухозаземленной нейтралью в составе программно-аппаратного комплекса даёт возможность непрерывного мониторинга состояния изоляции всех контролируемых присоединений, что позволяет перейти от борьбы с последствиями нарушений изоляции и возникновению коротких замыканий к их предупреждению и, как следствие, существенному повышению электропожаробезопасности.

Результаты проведённых испытаний показали, что датчики-преобразователи обладают существенной чувствительностью по сравнению с применяемыми трансформаторами тока.

Реализация системы пофидерного контроля состояния изоляции позволит решать такие задачи как, наблюдение за динамикой изменения состояния изоляции, сократить время нахождения электрических сетей системы электроснабжения в аварийном или предаварийном состоянии, а в перспективе перейти от системы планово-предупредительных ремонтов к ремонту по фактическому состоянию.

Библиографический список

1. **Фоминич Э.Н., Колесник И.В., Тишков А.А., Курьяков Е.А.** Система контроля состояния электрической изоляции в сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью. // Электроэнергия. Передача и распределение, 2018. №3(49)
2. **Михайлов А.К., Фоминич Э.Н., Глухов О.А., Тишков А.А.** Системы контроля изоляции в системах электроснабжения с изолированной нейтралью//Технология ЭМС, 2007, № 3(22).
3. **Тишков А.А., Колесник И.В., Панасюк В.Н.** Создание системы контроля состояния изоляции кабельных сетей на объектах МО РФ //Военный инженер, 2017 №1(3).

А.С. Кулыгин, студ.;
рук. Ю.С. Чебрякова, к.т.н.
(ВлГУ, г. Владимир)

МОЛНИЕЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Для объектов культурного наследия традиционная система молниезащиты не подходит, так как конструктивно нет возможности ее смонтировать, а также это может ухудшить состояние объекта. Для таких объектов целесообразно применять активные молниеприемники. Активная молниезащита (АМЗ) – это инженерно-техническая система основной задачей, которой является, при возникновении опасной грозовой деятельности, «искусственно» принять на себя и безопасно отвести в грунт ток молнии, опережая ее «естественное» развитие. Главное отличие (АМЗ) от традиционных молниезащитных устройств заключается в наличии активного молниеприемника, который реагирует на рост напряженности электромагнитного поля, возникающей при приближении грозового фронта. При использовании АМЗ радиус защиты увеличивается в несколько десятков раз по сравнению с традиционной молниезащитой, как показано на рис.1. В работе проведено сравнение зон защиты АМЗ и традиционного стержневого молниеотвода.

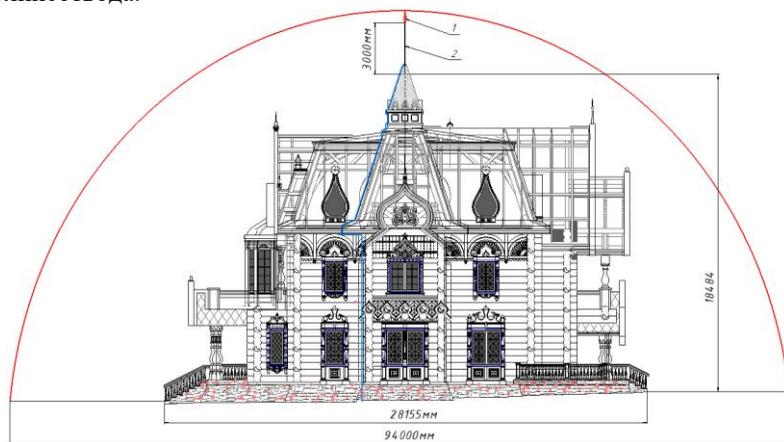


Рис. 1. Радиус защиты при использовании АМЗ: 1-активный молниеприемник; 2- мачта

Библиографический список

1. **Каталог «VoltStream»** [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://voltstream.ru>.
2. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

*М.Р.Отузбаев, И.А.Сабадаш; рук. Н.В. Щеглов, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРЯДНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Разрядные явления в воздушных (самовосстанавливающихся) промежутках имеют статистическую природу. Из этого следует, что оценка электрической прочности воздушных промежутков должна проводиться статистическими методами, которые основаны на анализе большого количества испытаний.

Напряжение пробоя – характеристика диэлектрика, представляющая наибольший интерес в исследовании, так как при этом напряжении воздушные промежутки теряют электрическую прочность. Для исследования была собрана экспериментальная установка (рис. 1). Данная установка позволяет проводить испытания на переменном напряжении. Напряжение пробоя на разрядном промежутке измеряется вольтметром (V) с учётом коэффициента трансформации ($K_{тр} = 500$).

На принципиальной схеме изображены конфигурации воздушных промежутков: плоскость-плоскость (ПП), шар-шар (ШШ), стержень-плоскость (СП), игла-плоскость (ИП). Испытания проводились при расстоянии между электродами 4 см, и количестве измерений равном 20-ти для каждого проме-

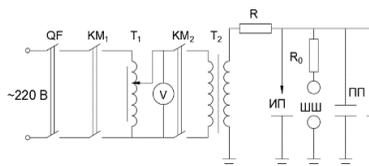


Рис. 1. Принципиальная схема испытательной установки переменного тока:
QF – автоматический выключатель;
KM1, KM2 – контакторы;
T1 – регулировочный трансформатор;
T2 – испытательный трансформатор

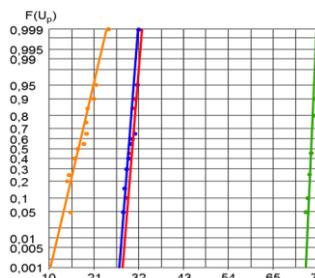


Рис. 2. Функции распределения разрядных напряжений:
1 – ИП; 2 – ШШ; 3 – СП; 4 – ПП

жутка. А также была проведена математическая обработка и построены графики на вероятностной сетке (рис. 2). Как видно из графика (рис. 2) расположение полученных точек укладывается в одну линию на вероятностной сетке. Это в свою очередь доказывает подчинение разброса опытных точек разрядных напряжений нормальному закону.

В.С. Панкова, студ.;
рук. И.А. Фомина, к.т.н.
(НГТУ, г. Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО ТИПА ИЗОЛЯЦИИ SCOTCH 1601 И МЕТОДЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ЕЁ ИСПЫТАНИЙ

На данный момент количество инновационных типов изоляции с каждым днем увеличивается. В исследовании рассматривали именно такой тип изоляции. «Жидкая изолента» SCOTCH 1601 - это бесцветный аэрозоль. При распылении он «твердеет» и образует гибкую и прочную пленку, обладающую высокой адгезией с большинством поверхностей. В связи с тем, что производитель не предоставляет электроизоляционных свойств материала, испытания проводились самостоятельно.

Для того чтобы начать испытания, необходимо было уточнить методику приготовления образцов и испытаний изоляции. Изучив ГОСТ о методах определения электрической прочности твердых электроизоляционных материалов [1] было выявлено то, что в нем не предусматривается оценка электроизоляционных характеристик затвердевающих диэлектриков. Поэтому было выбрано несколько методик изготовления испытательных образцов.

Во-первых, аэрозоль распылили на фторопласт, поскольку этот материал обладает низкой адгезией.

Во-вторых, изоляцию нанесли на воду, так как жидкость позволяет равномерно распределиться материалу по поверхности.

В-третьих, сделали металлический электрод со слоем «жидкой изоленты». В результате испытания на электрическую прочность твердый образец толщиной 0.07 мм выдержал 2.5 кВ, а образец на металлической пластине толщиной 0.25 мм выдержал 9.25 кВ. После успешных испытаний, изоляцию применили в научном моделировании.

Данные исследования показали, что проводить испытания новой изоляции не просто. Трудности возникают, как при получении образцов, так и в определении параметров для испытаний.

В связи с этим, данные исследования актуальны и перспективны в будущем.

Библиографический список

1. ГОСТ 6433.3-71*. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрической прочности при переменном (частоты 50 Гц) и постоянном напряжении. – М.: Изд. стандартов, 1994.

*М.П. Родцевич, П.А. Комляк, Н.Р. Фахриев, студ.;
рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВА МТО, г. С. - Петербург)*

УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Проблемы надежного и эффективного функционирования радиоэлектронных средств государственных инфраструктур становятся особенно острыми и актуальными в связи с развитием и совершенствованием средств мощных микроволновых излучений, формирующих электромагнитные факторы, достаточные для их функционального поражения. Острота данной проблемы обусловлена также в связи с насыщением объектов многочисленным электротехническим, радиоэлектронным оборудованием.

В ходе выполнения опытно-конструкторской работы выполняемой по заказу Девятого управления МО РФ организацией ВЭИ им. В.И. Ленина при научном сопровождении ВИ(ИТ) была решена актуальная задача по разработке новых устройств защиты на 6/10 кВ, а также на номинальное напряжение 0,4 кВ.

Впервые в нашей стране разработка УЗИП выполнена на основе зонной концепции защиты электрооборудования специальных объектов. Реализация, которой позволила согласовать работу устройств защиты и оптимизировать затраты на реализацию мероприятий по защите систем электроснабжения от поражающего действия современного оружия. В разработанных УЗИП применены современные материалы и элементная компонентная база отечественного производства.

Устройства защиты от импульсных перенапряжений на номинальное напряжение 0,4 кВ по своим техническим характеристикам не имеют аналогов в нашей стране и за рубежом.

Библиографический список

1. Колесник И.В., Родцевич М.П., Тишков А.А. Принципы построения устройств защиты систем электроснабжения специальных объектов от мощных электромагнитных излучений современного и перспективного оружия. Сб. трудов III межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». – СПб: типография ВАС, 2018.

2. Курьяков Е.В., Родцевич М.П., Тишков А.А. Разработка устройств защиты систем автономного электроснабжения от мощных электромагнитных излучений. Материалы тринадцатой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2018». – Иваново: ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2018.

*М.В. Абраменко, маг.;
рук. Ю.В. Бладыко, к.т.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)*

РАСЧЕТ СТРЕЛ ПРОВЕСА ГИБКИХ ПРОВОДОВ С РАЗНЫМИ ГИРЛЯНДАМИ ИЗОЛЯТОРОВ

В одном пролете могут использоваться различные натяжные гирлянды изоляторов. Стрела провеса для гибких проводов в этом случае определяется с помощью коэффициента увеличения стрелы провеса как [1]

$$f_0 = \frac{ql^2}{8H} K_f,$$

где K_f – коэффициент увеличения стрелы провеса, обусловленный наличием натяжных гирлянд изоляторов:

$$K_f = 1 + 2\delta_1 + 2\delta_2 + (\delta_1 - \delta_2)^2;$$

$\delta_1 = (K_{B1} - 1)K_{r1}^2$; $\delta_2 = (K_{B2} - 1)K_{r2}^2$ – коэффициенты, учитывающие наличие первой и второй натяжных гирлянд изоляторов;

$K_{B1} = \frac{q_{r1}}{q}$; $K_{B2} = \frac{q_{r2}}{q}$ – кратности веса первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно веса провода;

$K_{r1} = \frac{l_{r1}}{l}$; $K_{r2} = \frac{l_{r2}}{l}$ – кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно длины пролета;

q – погонный вес проводов фазы;

l – длина пролета;

H – тяжесть в проводе;

q_{r1} , q_{r2} – погонный вес первой и второй гирлянд;

l_{r1} , l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.

Полученная компактная формула для расчета коэффициента увеличения стрелы провеса, обусловленного наличием гирлянд изоляторов, проверена для частных случаев расположения гирлянд и с помощью компьютерных программ механического расчета [1].

Библиографический список

1. Бладыко, Ю.В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенной нагрузки, распределенной с учетом конструктивных элементов / Ю.В.Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 3. – С. 220-234.

М.В. Абраменко, маг.;
рук. Ю.В. Бладыко, к.т.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)

КОЭФФИЦИЕНТ НАГРУЗКИ ГИБКИХ ПРОВОДОВ С РАЗНЫМИ ГИРЛЯНДАМИ ИЗОЛЯТОРОВ

Для решения уравнения состояния пролетов с гибкими проводами и разными натяжными гирляндами изоляторов получена формула коэффициента нагрузки. Длина провода с гирляндами

$$L = l + \frac{q^2 l^2 l_1 K^2}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2},$$

где q – погонный вес провода;

l – длина пролета; $l_1 = l - l_{r1} - l_{r2}$;

l_{r1}, l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов;

H – тяжесть в проводе;

K – коэффициент нагрузки, учитывающий конструктивные элементы для

различных климатических нагрузок: $K^2 = \frac{12D}{q^2 l^2 l_1}$,

D – интеграл: $D = \int_0^l Q^2(x) dx$;

$Q(x)$ – балочная поперечная сила.

Коэффициент нагрузки

$$K^2 = \frac{1}{l_1} \left[l + \frac{8(l_{r1}^3 + l_{r2}^3)}{l^2} - \frac{6(l_{r1}^2 + l_{r2}^2)}{l} - \frac{3c^2}{l^3} \right] + \\ + \frac{6}{q l^2 l_1} \left[q_{r1} l_{r1}^2 (l - 2l_{r1}) + q_{r2} l_{r2}^2 (l - 2l_{r2}) + \frac{cd}{l} \right] + \\ + \frac{1}{q^2 l^2 l_1} \left[4q_{r1}^2 l_{r1}^3 + 4q_{r2}^2 l_{r2}^3 - \frac{3d^2}{l} \right],$$

где $c = l_{r1}^2 - l_{r2}^2$; $d = q_{r1} l_{r1}^2 - q_{r2} l_{r2}^2$;

q_{r1}, q_{r2} – погонный вес первой и второй гирлянд.

Полученный коэффициент позволяет определить для всех режимов эквивалентные погонные и удельные нагрузки, после чего составляется уравнение состояния, позволяющее определить напряжение в проводе в любом режиме нагрузок, в том числе климатических.

М.А. Богомолов, маг.;
Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ В ANSYS MAXWELL

Ранее [1] была разработана методика расчета основных характеристик силовых высоковольтных трансформаторов повышенной частоты, выполнена оценка емкостных и индуктивных параметров [2], а также технико-экономические оценки [3]. Проведенные исследования [1-3] позволили сделать вывод о целесообразности применения подобных трансформаторов в электротехнических комплексах повышенной частоты (ЭТКПЧ), предназначенных для централизованного питания электротермических установок обработки изделий и материалов (например, из бетона) в условиях промышленных предприятий. С целью совершенствования способов расчета и моделирования ЭТКПЧ, в т.ч. магистрального типа требуется совершенствование методики расчета трансформаторов повышенной частоты большой мощности (от 30 кВт) и ее проверка.

В настоящее время является возможным выполнить проверку разработанной методики, как путем создания физической модели трансформатора, так и создания его модели в ANSYS MAXWELL (рис.1).

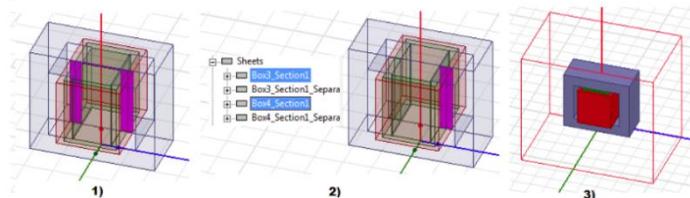


Рис.1. Построение элементов геометрии трансформатора повышенной частоты

Библиографический список

1. **Шадриков, Т.Е.** О возможности и целесообразности физического моделирования электропередачи с нетрадиционными параметрами используемых токов и напряжений / Т.Е. Шадриков, А.М. Соколов, А.В. Гусенков, В.Д. Лебедев // Энергетик. №4. – 2015. – С. 29–32.
2. **Шадриков, Т.Е.** Техничко-экономические показатели силовых трансформаторов высокого напряжения локальных электроэнергетических систем переменного тока повышенной частоты / Т.Е. Шадриков, А.М. Соколов, А.В. Гусенков, В.Д. Лебедев // Энергетик. №2. 2015. – С. 11–14.
3. **Шадриков, Т.Е.** Методика определения емкостных и индуктивных параметров силовых высоковольтных трансформаторов повышенной частоты / Т.Е. Шадриков, А.В. Гусенков, А.А. Дьячков, А.А. Симакова // Вестник ИГЭУ. Вып. 1. – Иваново: Иван. госуд. энерг. ун-т им. В.И. Ленина. 2016. – С. 27–33.

А.А. Жолобов, маг.;
О.С. Мельникова, А.В. Вихарев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА И МАТЕРИАЛА ЧАСТИЦ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

В технически чистых жидких диэлектриках всегда содержатся различные примеси. Поэтому проводимость в жидких диэлектриках сильно зависит от чистоты жидкости: на собственную проводимость диэлектрика накладывается примесная проводимость. Целью проведения исследований является определение зависимости напряженности электрического поля в стандартной ячейке от размера и материала частиц примесей в трансформаторном масле в среде ANSYS Maxwell.

Для проведения исследования была создана 3D модель маслопробойника в программном обеспечении Autodesk Inventor, с последующим импортом в среду ANSYS Maxwell. За основу 3D модели была принята стандартная измерительная ячейка для определения пробивного напряжения, геометрические размеры и материалы которой были заданы в соответствии с ГОСТ 6581-75.

Для получения полной картины влияния частиц примесей на электрическую прочность трансформаторного масла была выполнена оценка напряженности в промежутке между электродами без частиц и с частицами. Размеры частиц определялись классами чистоты в соответствии с ГОСТ 17216-2001, а также были рассмотрены частицы с различными характеристиками материалов: увлажненные волокна, эмульгированная вода, проводящие механические частицы (железо), газовые пузырьки. Анализ электрического поля проводился при напряжении на электродной системе 40 кВ.

Анализ картин электрического поля на оси системы показал, что даже при появлении между электродами частицы в 40 мкм, максимальная напряженность в промежутке возрастает почти в 3,5 раза ($E_{\text{макс}}=16,62$ кВ/мм – в поле без частицы и $E_{\text{макс}}=56,9$ кВ/мм – в поле с частицей). Материал частицы так же оказывает значительный эффект: минимальное изменение напряженности в промежутке с волокнами – $E_{\text{макс}}=18,9$ кВ/мм, а максимальное – в промежутке с проводящими механическими частицами $E_{\text{макс}}=169,8$ кВ/мм. Так же было определено, что возрастание максимальной напряженности в промежутке происходит лишь до определённого размера частиц, после чего устанавливается на одном уровне (для эмульгированной воды данное значение около 72 кВ/мм при размере частиц от 100 мкм и выше).

А.А. Жолобов, И.А. Митин, маг.;
О. С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ РАЗРЯДНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ В СЛАБОНЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ

Целью исследований является изучение механизма и закономерностей развития газового разряда в слабонеоднородных полях, образованных геометрически подобными системами электродов в виде коаксиальных цилиндров. Системы электродов такой конфигурации широко применяются в изоляционных конструкциях газонаполненных кабелей, элегазовых распределительных устройств, воздушных выключателей и др. Разрядное напряжение воздушного промежутка зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются геометрические параметры системы электродов, давление и температура воздуха.

Для двух выбранных электродных систем экспериментально по результатам десяти испытаний были определены величины среднего значения разрядного напряжения $\langle U_{cp} \rangle$ и среднеквадратическое отклонение от среднего значения разрядного напряжения $\sigma_{\langle U_{cp} \rangle}$. Для выбранных электродных систем в программе Elcut были созданы геометрические модели, заданы свойства элементов модели, источники электрического поля. После построения выполнен расчет электрического поля в этих электродных системах. Получено распределение напряженности электрического поля созданных моделей в радиальном направлении от внутреннего к внешним электродам. По графику определены максимальная напряженность поля и выполнена оценка степени неоднородности поля рассматриваемых электродных систем.

По значению максимальной напряженности для рассматриваемых разрядных систем рассчитаны разрядные напряжения. Здесь следует отметить, что при сравнении результатов, полученных при расчете в программе Elcut со значениями, полученными в экспериментальной части, выявлены их близкие значения. В соответствии с законом подобия электрических разрядов по значениям разрядного напряжения $\langle U_{cp} \rangle$ была составлена и решена система уравнений для определения постоянных коэффициенты c_1 и c_2 для геометрически подобных систем. Определив коэффициенты c_1 и c_2 , произведен расчет разрядных напряжений для реальных конструкций устройств в виде коаксиальных цилиндров с различным расстоянием между электродами S и различными отношениями радиусов цилиндров к расстоянию между электродами $\frac{r}{S}$.

Е.А. Кондрукова, студ.;
рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В связи с активным строительством воздушных линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения все более актуальным становится вопрос исследования и ограничения экологического влияния линии электропередачи.

Одним из параметров оценки экологического влияния является уровень напряженности электрического поля, создаваемого в пространстве, окружающем линию. Целью исследований является оценка электрического влияния воздушной высоковольтной линии электропередачи на основе расчета электрического поля в программе ELCUT.

Оценка электрического воздействия поля высоковольтной линии проводится в соответствии со стандартом РД 34.03.601. Согласно которому предельно допустимый уровень напряженности электрического поля на высоте 1,8 м над землей составляет на территории зоны жилой застройки – 1 кВ/м; в населенной местности, вне зоны жилой застройки, а также на территории огородов и садов – 5 кВ/м; на участках пересечения воздушных линий электропередачи с автомобильными дорогами – 10 кВ/м; в не-населенной местности – 15 кВ/м.

Номинальное напряжение рассмотренной высоковольтной линии – 330 кВ. На ОРУ и на ВЛ напряжением 330 кВ и выше должна быть обеспечена защита от электрического поля, способного вызывать отрицательное воздействие на организм человека и вызывать появление электрических разрядов при прикосновении к заземленным или изолированным от земли электропроводящим объектам.

В ходе исследований были рассчитаны высота гирлянды, высота проводов на опоре, высота стрелы провеса в середине пролета, средняя высота провода над землей в пролете. Линия 330 кВ относится к линиям сверхвысокого напряжения. Одной из отличительных особенностей является применение расщепленной фазы, в связи с этим рассчитан эквивалентный радиус r_3 , соответствующий радиусу одиночного провода. Для ЛЭП 330 кВ были выполнены геометрические построения модели линии, заданы источники электрического поля. В результате была рассчитана напряженность электрического поля на уровне 1,8 м над землей в программе ELCUT. Расчет показал, что максимальное значение напряженности электрического поля на уровне 1,8 м составляет 5 кВ/м, которое является допустимой для заданной местности.

А.А. Мельников, студ.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

На изоляцию в процессе эксплуатации воздействуют электрические, механические и тепловые нагрузки.

Под влиянием внешних воздействующих факторов, происходит старение изоляции, в процессе которого изменяются её характеристики: уменьшается степень полимеризации бумажной изоляции, происходит расслоение и растрескивание.

Расслоения и растрескивания характерны тем, что электрическая прочность газов, заполняющих образовавшиеся полости намного меньше электрической прочности твердой или масляной изоляции, поэтому, под воздействием даже рабочего напряжения на этих участках появляются частичные разряды.

Частичный разряд (ЧР) – это искровой разряд малой мощности, возникающий как внутри изоляции, так и снаружи на участках с наибольшей напряженностью электрического поля. Образование частичных разрядов в твердой изоляции сопровождается разложением диэлектрика, которое впоследствии может привести к выходу оборудования из строя.

Основными методами регистрации ЧР являются: электрический, акустический, электромагнитный, оптический и химический. Наиболее информативным из перечисленных методов является электрический, так как он позволяет не только регистрировать сам факт возникновения ЧР, но и измерять характеристики ЧР.

Для регистрации и анализа ЧР предлагается множество аппаратных решений: R2200 – многоканальный прибор регистрации и анализа сигналов ЧР, прибор для online диагностики ЧР HVPD PDS Insight, ИЧР-201 – универсальный прибор, позволяющий производить измерения как на стендах при приемосдаточных испытаниях, так и в производственной среде, универсальный прибор DIM Loc, AR700 – прибор для анализа частичных разрядов и локации зоны дефекта в изоляции трансформатора при помощи акустических датчиков.

В работе выполнен анализ методов регистрации ЧР, реализуемых указанными техническими средствами, выбран наиболее перспективный метод и рассмотрены возможные варианты его реализации в лабораторных условиях.

И.А. Митин, маг.;
Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время уделяется много внимания изучению методов и способов диагностики технического состояния ограничителей перенапряжения, поскольку большое практическое значение имеет оценка фактического срока службы ОПН. Ограничители перенапряжений широко применяются в российской энергетике на классы напряжения 110-750 кВ, работающих в режиме с глухим (эффективным) заземлением нейтрали, однако применение ОПН в сетях 0.4 кВ так же актуально в настоящее время (ввиду снижения стоимости последних). К сожалению, ОПН очень часто выходят из строя во время эксплуатации и нуждаются в диагностике.

Были рассмотрены электрические и неэлектрические воздействия, оказывающие влияние на срок службы ОПН, а также следующие методы контроля состояния ОПН:

1. Измерение сопротивления ОПН;
2. Измерение тока проводимости;
3. Тепловизионный контроль;
4. Регистрация срабатываний.

Были сделаны выводы, что наиболее неэффективным видом диагностики является регистрация срабатываний, так как регистраторы числа срабатываний реагируют на факт протекания тока, величина которого больше определенного значения, и никак не учитывают формы импульсного тока, а значит, не дают представления об энергии, которая выделяется в ОПН. Так же, тепловизионный контроль имеет недостаток, заключающийся в том, что температура ребер изоляции выше температуры тела, из-за этого помехи, создаваемые ребрами, такие, что некоторые части ОПН вовсе не видно (обычно это части, которые примыкают к нижнему фланцу). Недостатком замера сопротивления ОПН является то, что РД нуждается в корректировке, так как испытательное напряжение, приложенное к ОПН согласно РД, может привести к повреждению варисторов ОПН, однако к плюсам можно отнести простоту данного метода контроля.

Таким образом, в условиях эксплуатации требуется совмещать вышеуказанные методы диагностики ОПН для получения актуальной картины технического состояния устройства.

*К.А. Морозова, студ.;
рук. Ю.М. Смирнова, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ОПОР ЛЭП ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Опоры ЛЭП из композиционных материалов широко используются за рубежом с начала 2000 г., в России же данная технология малоизвестна.

Композитные опоры ЛЭП выполняются из армированных полимерных композиционных материалов, в частности стеклопластика. Преимуществами композитных опор является снижение затрат при транспортировке, снижение издержек при выполнении строительно-монтажных работ, простота и быстрота сборки, меньший вес опор и их модульная конструкция. Нельзя не отметить, что данный материал крайне прочен, так в январе 2009 года, в штате Западный Кентукки через зону эксплуатации WKRECC прошла снежная буря. Ураган унес более 1600 деревянных опор, однако, ни одна из опор, выполненных из новых материалов, не была повреждена.

Отсутствие в необходимости окраски и опыт работ конструкции показывает готовность оборудования противостоять любым климатическим условиям, а также специальное покрытие защищает опоры от ультрафиолетовых лучей и низовых пожаров. Высокая стоимость данных опор является самым существенным недостатком данных опор.

В России смонтированы и эксплуатируются опытные участки линий в Якутии, Краснодарском и Приморском крае, Тюменской, Архангельской, Иркутской и Калининградской областях. Опытные участки ЛЭП позволяют выявить особенности проектирования, монтажа и эксплуатации композитных опор в различных климатических зонах и определить перспективы их применения для строительства новых ЛЭП. В России на сегодняшний день композитные материалы для ЛЭП целесообразно применять для быстромонтируемых ремонтных опор аварийного резерва.

Библиографический список

1. **Опоры** ЛЭП: [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/news/articles/opory-novogo-pokolenia-izgotovlennye-iz-kompozitnyh-materialov-poavilis-v-oao-2018-09-06>.

А.С. Пантелеев, студ.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В процессе изготовления и последующей эксплуатации высоковольтного оборудования в органической изоляции образуются газовые включения.

В этих газовых включениях, поскольку электрическая прочность газа много меньше электрической прочности твердой или жидкой изоляции, возникают частичные разряды. Со временем, повторяющиеся ЧР разрушают изоляцию, что приводит к ее пробою.

Частичный разряд (ЧР) – это искровой разряд малой мощности, в местах с пониженной электрической прочностью или в местах с повышенной напряженностью электрического поля, который формируется внутри изоляции или на ее поверхности. Частичные разряды в твердых и жидких диэлектриках, в том числе и в изоляции высоковольтных силовых кабелей характеризуются коротким временем существования единичного разряда (несколько нс). При возникновении частичного разряда на участке где он формируется, происходит кратковременное уменьшение напряжения, что вызывает возникновение переходного процесса и появления соответствующего тока. Импульсные токи, сопутствующие частичному разряду, характеризуются высокой скоростью изменения. В зависимости от конструкции кабеля, от емкости и индуктивности проводников спектр токов ЧР занимает частотный диапазон от десятков килогерц до десятков мегагерц.

В работе рассмотрены процессы, происходящие в двухмерной модели кабеля в среде проектирования Maxwell при исследовании токов частичных разрядов. Подобное моделирование позволяет определять требования, предъявляемые к техническим средствам, используемым для регистрации характеристик ЧР в кабелях, находящихся в эксплуатации. Для оценки достоверности имитационного моделирования проведен натурный эксперимент на реальном кабеле, в ходе которого с генератора прямоугольных импульсов подавались импульсные сигналы, имитирующие частичные разряды на различные фазы кабеля. Сравнения результатов имитационного моделирования в среде Maxwell и результатов, полученных в ходе натурального эксперимента, показывает их сходство, что свидетельствует о достоверности и о возможности моделирования подобных процессов в среде Maxwell.

С.В. Разумов, студ.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО УРОВНЮ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Состояние изоляции кабельных линий можно определить испытанием повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативными документами [1]. Из практики эксплуатации высоковольтных кабельных линий известно, что успешные проведения испытаний повышенным напряжением промышленной частоты не гарантируют безаварийной последующей эксплуатации кабелей. Кроме того, испытания кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена повышенным выпрямленным напряжением приводят к существенному старению изоляции и к увеличению вероятности ее пробоя. Для испытания кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, должны применяться неразрушающие способы, не приводящие к старению изоляции. Они позволяют определить не только техническое состояние, но и локализовать имеющиеся дефекты.

К наиболее перспективным сегодня способам диагностики и нахождения дефектов относятся: измерение характеристик частичных разрядов, измерение диэлектрических потерь изоляции, тепловизионный контроль, рефлектометрия. Наиболее перспективным из вышеперечисленных способов является измерение характеристик частичных разрядов в изоляции электрооборудования. Способы идентификации дефектов изоляции по характеристикам ЧР условно можно разбить на три группы:

- основанные на оценках интегральных параметров и особенностей спектров ЧР;
- основанные на анализе формы и закономерностей возникновения и следования индивидуальных импульсов ЧР;
- основанные на изучении статистических характеристик спектров ЧР.

По публикациям в периодической литературе [2] наиболее точными в плане идентификации типа дефекта, считается вторая группа способов.

В работе исследуется возможность регистрации ЧР в кабельной изоляции трансформаторными датчиками с магнитопроводом из ферромагнитного материала, размещаемыми на фазных проводниках силового кабеля и в цепи заземления его экрана.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ) // ПУЭ. Г. 1.8. Изд. 7-ое // 1.8.40. Силовые кабельные линии.
2. **В. Подлесный, Т. Млынчик.** Диагностика кабельных линий: у ворот в новую эпоху; 2013.

Д.Н. Соколов, студ.;
рук. Ю.М. Смирнова, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ МНОГОГРАННЫХ ОПОР ЛЭП

Стальные многогранные опоры ЛЭП имеют многолетний опыт применения во всем мире. Они используются для поддержания проводов ВЛЭП напряжением 10-500 кВ и устанавливаются в населенной и ненаселенной местности в I-V гололедных и ветровых районах, где температура воздуха может опускаться до -65°C . Многогранные опоры ВЛ производятся по рабочим чертежам проектных институтов из низколегированной стали. Представляют собой конструкцию из стоек, изготовленных в форме полых усеченных пирамид. Стойки собираются из отдельных секций при помощи фланцевого или телескопического соединения. Конструкции траверс могут быть изолирующего, решетчатого или многогранного типа.

Эксплуатация таких опор приводит к ряду преимуществ. В сравнении со своими железобетонными и решетчатыми аналогами линии на многогранных опорах возводятся в 2-4 раза быстрее, а экономичность таких сооружений доходит до 12-15% по отношению к бетонным конструкциям и до 40-50% – к решетчатым. Это достигается сокращением количества опор в линии за счет прочных характеристик и снижением трудности монтажа. Кроме того, многогранные опоры очень удобны в транспортировке. Секции длиной до 12 метров размещают друг в друге и перевозят в обычном транспорте. Многогранный ствол опоры имеет антивандальную конструкцию, сохраняет работоспособность при многократных погрузо-разгрузочных работах и обладает повышенной ремонтопригодностью.

На данный момент выделяют несколько крупных институтов, которые разрабатывают проекты стальных многогранных опор. Например, ЛЭП 6-10 кВ в основном изготавливаются по проекту ОАО «РОСЛЭП». Институтом ОАО «СевЗап НТЦ» была разработана линейка современных многогранных опор для ЛЭП напряжением 330 кВ различной конструкции и функционального назначения. А украинским проектировщиком ОАО «ПРОМиК» были созданы опоры для переходов через водные преграды и линейка современных многогранных опор portalного типа с внутренними связями, рассчитанная на 500 кВ.

Библиографический список

1. **Опоры** ЛЭП: [Электронный ресурс]. URL: <http://опора-лэп.рф> (Дата обращения: 11.01.2019).

Содержание

Секция 13. Электрические системы

<i>Абрамченко Е.В.</i> Универсальная информационная модель интеллектуальной системы электроснабжения на основе трехфазных схем замещения	4
<i>Ионова В.И., рук. Андрианов Д.П.</i> Оценка влияния нагрева проводника на потери мощности в электрической цепи	5
<i>Крицкий А.В., Петрищев Е.Ю., рук. Ведерников А.С.</i> Программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий информационную и аналитическую поддержку диспетчерского персонала	6
<i>Молочков Д.А., рук. Шмелёв В.Е.</i> Полуавтоматизированный расчёт несимметричных трёхфазных электрических сетей	7
<i>Поповцев В.В., Шендер С.Е., рук. Егоров А.О.</i> Применение методов инфографики для визуализации объектов энергетики	8
<i>Федюкович Н.С., рук. Герасименко А.А.</i> Повышение пропускной способности распределительных сетей	9
<i>Юдина А.А., рук. Дадонов Д.Н.</i> Технические решения по выдаче мощности в сети 220 кВ и выше при реконструкции Балаковской АЭС	10
<i>Градов Н.А., Градова Е.С., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Построение областей устойчивости ЭЭС при комплексном влиянии состава и мощности нагрузки и настроечных параметров УУПК	11
<i>Егоров В.А., рук. Кулешов А.И.</i> Повышение пропускной способности ЛЭП за счет применения высокотемпературных проводов	12
<i>Железнов А.Н., рук. Братолобов А.А.</i> Влияние соотношения номинальных мощностей генераторов на динамическую устойчивость ЭЭС	13
<i>Егоров В.А., рук. Савельев В.А.</i> Специфика инновационных проводов для воздушных линий электропередачи	14
<i>Железнов А.Н., Киреев А.А., Плеханов Н.И., рук. Савельев В.А.</i> Перспектива применения устройств ограничения токов короткого замыкания в электрических сетях	15
<i>Киреев А.А., рук. Кулешов А.И.</i> Методы обнаружения гололёдных образований на линиях электропередачи и способы их устранения	16
<i>Коротков Н.С., рук. Кулешов А.И.</i> Моделирование бустера напряжения в программном комплексе «MULTISIM»	17
<i>Кукушкина А.А., рук. Мартиросян А.А.</i> Исследование устойчивости сложных ЭЭС содержащих управляемую распределенную продольную емкостную компенсацию	18
<i>Рафиков В.Р., рук. Братолобов А.А.</i> Верификация учебной программы SSST для моделирования переходных процессов в ЭЭС	19
<i>Смирнов А.С., рук. Братолобов А.А.</i> Исследование математических моделей синхронных машин для анализа переходных процессов в ЭЭС	20
<i>Чуркина Ю.О., рук. Мартиросян А.А.</i> О способах недопущения резонансного перехода в системе с управляемой продольной компенсацией	21

<i>Шатохина Д.И., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Определение предельной длительности симметричных коротких замыканий по длине управляемой линии электропередачи	22
<i>Пилипенко П.С., рук. Мешкова Ю.С.</i> Выбор оптимальной мощности источника питания по критерию минимума потерь активной мощности	23

Секция 14. Электроснабжение

<i>Андреев А.И., Василец Д.А., рук. Тишков А.А.</i> Модернизация системы наружного освещения северных городов	25
<i>Беликов С.Н., рук. Алюнов А.Н.</i> Способ автоматизированного расчета замены неизолированного провода на воздушных линиях	26
<i>Газизуллин И.М., рук. Богданов А.Н.</i> Разработка автомата для обжима проводов	27
<i>Ищенко А.А., рук. Герасименко А.А.</i> Анализ статистической устойчивости обобщённых графиков нагрузок	28
<i>Ляханов Е.А., Шендер С.Е., рук. Егоров А.О.</i> Мониторинг метрологических характеристик измерительных комплексов на межповерочных интервалах времени	29
<i>Первенёнок Р.Е., Кручёнок Л.П., рук. Сицко А.Л.</i> Технический облик системы электроснабжения автономных объектов с компенсацией неактивной мощности на основе нейросетевых технологий	30
<i>Петров М.И., рук. Рашитов П.А., Панфилов Д.И.</i> Расчет коэффициентов трансформации тиристорного регулятора переменного напряжения для различных областей его применения	31
<i>Поплавский И.А., Ахмадеев У.М., Марченко А.С.</i> Автоматизированная система анализа и управления качеством электроэнергии в предприятиях электрических сетей	32
<i>Рыбин А.Г., рук. Савенко А.Е.</i> Обеспечение гарантированного электроснабжения объекта безопасности мореплавания	33
<i>Солодунова А.Н., рук. Савенко А.Е.</i> Статические синхронные компенсаторы типа СТАТКОМ	34
<i>Чупрова И.А., рук. Чукреев М.Ю.</i> Особенности внедрения Smart Metering	35
<i>Груздова Е.С., рук. Аржанникова А.Е.</i> Учет дискретности переменных в задачах оптимизации систем электроснабжения	36
<i>Кормилицына А.М., рук. Савельев В.А.</i> Проблемы внедрения распределенной генерации в энергетике	37
<i>Курилов Е.О., рук. Шульгин А.А.</i> Энергосбережение на энергетических объектах при использовании частотно-регулируемых приводов	38
<i>Мартынова Е.Д., рук. Кулешов А.И.</i> Исследование влияния коэффициента формы на расчет потерь электроэнергии в программном комплексе «ENERGY POT»	39
<i>Молчагина К.Д., Сидоров А.В., рук. Сорокин А.Ф.</i> Исследование качества электроэнергии в сети с дугowymi печами на математической модели	40
<i>Маков М.В., рук. Бушуева О.А.</i> Анализ характеристик управляемых шунтирующих реакторов	41

Секция 15. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

<i>Аграфенин Е.А., рук. Шахнин В.А.</i> Современные устройства защиты промышленных сетей от аварийных возмущений	43
<i>Архангельский О.Д., рук. Гвоздев Д.Б.</i> Оценка рисков нарушения управляемости АСДУ в сложных электроэнергетических системах	44
<i>Зиннатуллина Г.Р., Тукаев С.М., рук. Хузяшев Р.Г.</i> Дисперсия сигналов переходного процесса в неоднородных линиях электропередач	45
<i>Мазнева О.В., рук. Хузяшев Р.Г.</i> Использование корреляционного анализа в задаче классификации сигналов переходного процесса	46
<i>Пелевин П.С., Лоскутов А.А., Вуколов В.Ю., рук. Куликов А.Л.</i> Особенности цифровой обработки волновых составляющих переходного процесса при повреждениях ЛЭП	47
<i>Позднякова О.А., рук. Хохлов М.В.</i> Оптимизация размещения измерений в электроэнергетических системах	48
<i>Тукаев С.М., рук. Хузяшев Р.Г.</i> Разработка программного обеспечения датчика определения места повреждения волновым методом	49
<i>Чернышов Д.В., Тихомиров В.В., Белов Д.В., рук. Тишков А.А.</i> Диагностирование технического состояния кабельной сети	50
<i>Шендер С.Е., Ерошенко С.А., рук. Егоров А.О.</i> Визуализация уровней токов коротких замыканий в энергосистеме	51
<i>Новожилов И.В., рук. Филина А.А.</i> Расчет ДЗШ и ДЗР подстанции «Ново-Внуково 220/110/10 кВ» на терминале RED 521 и SPAD 346с, выполненный в целях возможного реконструирования и модернизации ПС	52
<i>Балуев Е.А., Ковалев Б.О., рук. Филатова Г.А.</i> Разработка лабораторных работ с использованием микропроцессорных устройств релейной защиты и учебных стендов	53
<i>Готовкина Е.Е., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка алгоритмов цифровой обработки данных, передаваемых по протоколу IEC 61850-9-2	54
<i>Дунайцев П.С., рук. Алексинский С.О.</i> Программно-технические средства программирования и отладки микропроцессорной РЗА на основе микроконтроллеров STM32	55
<i>Кутумов Ю.Д., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка алгоритмов релейной защиты ЛЭП сверхвысокого напряжения, основанных на анализе волновых процессов	56
<i>Родин Н.А., рук. Колесов Л.М.</i> Исследование алгоритмов улавливания синхронизма	57
<i>Строгов В.А., Тимофеев А.С., Шарыгин Д.С., рук. Филатова Г.А.</i> Разработка функции определения места повреждения в составе мультифункциональной системы	58
<i>Тихомирова М.В., рук. Фролова О.В.</i> Исследование погрешностей цифровых датчиков тока и их влияние на ток небаланса в токовой защите нулевой последовательности	59
<i>Тихомирова М.В., Шакирьянов А.В., рук. Фролова О.В.</i> Исследование диапазона углов реле направления мощности нулевой последовательности	60

<i>Шарыгин Д.С., рук. Яблоков А.А.</i> Исследование характеристик нетрадиционных первичных преобразователей тока и напряжения цифровых трансформаторов	61
<i>Шелудько М.В., рук. Яблоков А.А.</i> Разработка математических моделей с распределенными параметрами преобразователей тока цифрового трансформатора	62
<i>Петров А.Е., рук. Яблоков А.А., Филатова Г.А.</i> Исследование устройства определения места повреждения в составе информационной системы на RTDS	63
<i>Петров А.Е., Тимофеев А.С., рук. Яблоков А.А., Филатова Г.А.</i> Исследование функции определения места повреждения в составе информационной системы на имитационных моделях	64

Секция 16. Электротехника и электротехнологии

<i>Туренкова Е.Н., рук. Долгих И.Ю., Корюкин Л.Б.</i> Разработка технологических основ индукционной точечной сварки	66
<i>Коваль П.Ю., рук. Кожевников В.Ю.</i> Технология 3D-печати ABS-пластиком, армированным углеродными волокнами с использованием СВЧ воздействия	67
<i>Норин В.А., рук. Снитько И.С.</i> Определение индуктивностей рассеяния многообмоточных силовых трансформаторов	68
<i>Норин В.А., рук. Савельев В.А.</i> Методы и средства мониторинга силовых трансформаторов	69
<i>Ионова В.И., рук. Шмелёв В.Е.</i> Анализ влияния насыщения магнитопровода на форму тока трансформатора	70
<i>Солодунов А.В., рук. Савенко А.Е.</i> Уменьшение потерь холостого хода силового трансформатора	71
<i>Федосеева В.П., рук. Сайкин М.С.</i> Магнитожидкостный виброметр для диагностики состояния энергетического оборудования	72
<i>Любимов А.Н., рук. Куликов К.В.</i> Проблемы разработки объектно-ориентированного сварочного робота	73
<i>Силкина Е.В., рук. Марков М.Г.</i> Разработка и исследование электрической части лазерных установок	74
<i>Кадеров В.А., Здорова М.В., Широков А.А., рук. Зечихин Б.С.</i> Система генерирования мощностью 500 кВА для электрического самолета	75
<i>Фане К. О., рук. Макаров А.В.</i> О возможности создания солнечной электрической станции в городе Кучала (Республика Мали)	76
<i>Орлов А.О., рук. Баженов В.С.</i> Разработка магнитожидкостного герметизатора для узла установки выращивания монокристаллов методом Чохральского	77

Секция 17. Электроэнергетика: прошлое, настоящее, будущее

<i>Абрамова М.Г., рук. Савельев В.А.</i> Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	79
<i>Емелин И.И., рук. Савельев В.А.</i> Мониторинг температуры изоляции кабелей из шитого полиэтилена	80

<i>Смирнова С.В., рук. Савельев В.А.</i> Роль и место накопителей в создании гибридных электростанций с ВИЭ	81
<i>Сочнев Е.В., рук. Савельев В.А.</i> Использование отражённого солнечного света из космоса для практических целей	82
<i>Фадеев С.Е., рук. Савельев В.А.</i> Цифровая РЭС: функции, задачи и структура	83
<i>Фрог Д.Л., рук. Савельев В.А.</i> Совершенствование и развитие метода частотного анализа при испытании силовых трансформаторов	84
<i>Шарнова Д.А., рук. Савельев В.А.</i> Техническое направления повышения надежности электроснабжения потребителей	85
<i>Шашиурин К.С., рук. Савельев В.А.</i> Цифровые РЭС. Цели создания, концепция. Используемые технологии и точки роста	86
<i>Чумаков Н.С., рук. Савельев В.А.</i> Перспективы применения атомных станций малой мощности в Арктике	87

Секция 18. Электрооборудование и режимы
электрических станций и подстанций

<i>Александров М.А., рук. Савельев В.А.</i> Мониторинг ресурса выключателей в режиме реального времени	89
<i>Басенко В.Р., Манахов В.А., рук. Максимов В.В.</i> Тенденции развития малой генерации в России	90
<i>Басенко В.Р., Низамиев М.Ф., рук. Ившин И.В.</i> Контроль технического состояния трансформаторного оборудования	91
<i>Бужина Е.М., рук. Савельев В.А.</i> Анализ перспектив современного технического диагностирования	92
<i>Жердев О.В., рук. Лаптев О.И.</i> Разработка установки для испытаний трансформаторов 6-10 кВ на стойкость к феррорезонансу	93
<i>Иванова Л.В., рук. Савельев В.А.</i> О целесообразности применения ремонтных перемычек для мостиковых схем распределительных устройств	94
<i>Комаров А.В., Ильичев Н.Б.</i> Применение программного комплекса СИМЭС для проектирования электрической части электрических станций	95
<i>Мардиханов А.Х., рук. Шарифуллин В.Н.</i> Методика поиска компромиссных решений при формировании режимов функционирования каскада ГЭС	96
<i>Швецов Н.К., Полкошиников Д.А., А.А. Сидоров, рук. Новоселов Е.М., Скоробогатов А.А.</i> Исследование влияния динамического эксцентриситета на внешнее магнитное поле асинхронного двигателя	97
<i>Страхов А.С., рук. Скоробогатов А.А.</i> Исследование сигналов внутреннего магнитного поля асинхронных электродвигателей в пусковом режиме	98
<i>Смурова Т.С., рук. Сулыненков И.Н.</i> Сопоставление методик оценки индекса технического состояния оборудования	99
<i>Чистяков А.Д., рук. Сулыненков И.Н.</i> Исследование надежности мостиковых схем распределительных устройств	100

<i>Чумаков Н.С., Корнилов Д.С., Страхов А.С., рук. Новоселов Е.М., Скоробогатов А.А.</i> Математическая модель высоковольтного асинхронного двигателя собственных нужд электростанций в программном комплексе ANSYS	101
<i>Эрдили Н.И., рук. Шалухо А. В.</i> Особенности работы «Виртуальной электростанции»	102
<i>Юдин А.В., Илинбаев А.А., рук. Иванова В.Р.</i> Повышение эффективности систем генерирования электрической энергии на основе фотоэлектрических модулей	103
<i>Юдин А.В., Илинбаев А.А., рук. Иванова В.Р.</i> Перспективные системы генерирования электрической энергии	104
<i>Зубов П.А., рук. Лапшин В.М.</i> Использование рабочих характеристик и экспериментальных механических характеристик для определения технического состояния агрегатов собственных нужд электростанций	105
<i>Сопин Е.Г., рук. Лапшин В.М.</i> Техничко-экономические аспекты реальной загрузки силовых трансформаторов на вновь вводимых объектах электросетевого хозяйства	106
<i>Сорокин И.М., рук. Лапшин В.М.</i> Проектирование электрических станций как объект нормативно - технического регулирования	107
<i>Парамонов Ф.С., рук. Ильичев Н.Б.</i> Разработка метода компьютерного расчета низковольтной сети собственных нужд постоянного и переменного тока	108

Секция 19. Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

<i>Аверьянов Г.В., Татаринев И.В., рук. Тишков А.А.</i> Контроль состояния электрической изоляции как способ повышения электро- и пожаробезопасности	110
<i>Кулыгин А.С., рук. Чебрякова Ю.С.</i> Молниезащита объектов культурного наследия	111
<i>Отузбаев М.Р., Сабадаш И.А., рук. Щеглов Н.В.</i> Статистические характеристики разрядных напряжений воздушных промежутков различной конфигурации	112
<i>Панкова В.С., рук. Фомина И.А.</i> Исследование нового типа изоляции SCOTCH 1601 и методы приготовления образцов для её испытаний	113
<i>Родцевич М.П., Комляк П.А. рук. Тишков А.А.</i> Устройства защиты от мощных электромагнитных излучений для систем автономного электроснабжения	114
<i>Абраменко М.В., рук. Бладыко Ю.В.</i> Расчет стрел провеса гибких проводов с разными гирляндами изоляторов	115
<i>Абраменко М.В., рук. Бладыко Ю.В.</i> Коэффициент нагрузки гибких проводов с разными гирляндами изоляторов	116
<i>Богомолов М.А., рук. Шадриков Т.Е.</i> Моделирование силового трансформатора повышенной частоты в ANSYS MAXWELL	117
<i>Жолобов А.А., рук. Мельникова О.С.</i> Влияние размера и материала частиц примесей на электрическую прочность трансформаторного масла	118

<i>Жолобов А.А., Митин И.А., рук. Мельникова О.С.</i> Исследование электрической прочности разрядных промежутков в слабонеоднородных полях	119
<i>Кондрукова Е.А., рук. Мельникова О.С.</i> Оценка электрического воздействия поля высоковольтной линии на математической модели	120
<i>Мельников А.А., рук. Словесный С.А.</i> Оценка состояния изоляции высоковольтного оборудования в эксплуатации	121
<i>Митин И.А., рук. Шадриков Т.Е.</i> Способы и методы диагностики ограничителей перенапряжения	122
<i>Морозова К.А., рук. Смирнова Ю.М.</i> Применение опор ЛЭП из композиционных материалов	123
<i>Пантелеев А.С., рук. Словесный С.А.</i> Моделирование частичных разрядов в высоковольтных изоляционных конструкциях	124
<i>Разумов С.В., рук. Словесный С.А.</i> Оценка состояния изоляции кабельных линий по уровню частичных разрядов	125
<i>Соколов Д.Н., рук. Смирнова Ю.М.</i> Применение стальных многогранных опор ЛЭП	126

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2019»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 3

*Составители: Макаров А.В., Шадриков Т.Е.
Компьютерная верстка Дыдыкиной Н.Н.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать 28 мая 2019г. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,64.
Тираж 100 экз. Заказ № 10
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.