

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ-2018

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

3-5 апреля 2018 г.
г. Иваново

ТОМ 3

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

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

Академия электротехнических наук РФ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2018»

ТРИНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ИВАНОВО, 3 – 5 апреля 2018 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 3

ИВАНОВО

ИГЭУ

2018

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2018»: материалы конференции. В 6 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2018. – 180 с.

ISBN 978-5-00062-358-9

ISBN 978-5-00062-354-1

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., профессор **А.Ф. СОРОКИН**, зав. кафедрой «Автоматическое управление электроэнергетическими системами», к.т.н., доцент **В.Д. ЛЕБЕДЕВ**, зав. кафедрой «Теоретические основы электротехники и электротехнологий», д.т.н., профессор **В.А. МАРТЫНОВ**, заместитель зав. кафедрой «Электрические станции и диагностика электрооборудования», к.т.н., доцент **В.М. ЛАПШИН**, зав. кафедрой «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика», к.т.н., доцент **С.А. СЛОВЕСНЫЙ**, зав. кафедрой «Электрические системы», к.т.н., доцент **А.Ю. МУРЗИН**.

СЕКЦИЯ 13
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Председатель – к.т.н., доцент **Мурзин А.Ю.**

Секретарь – ассистент **Кормилицын Д.Н.**

*Г.В. Аверьянов, студ., И.В. Колесник;
рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург)*

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДО 1000 В

Предотвращение возникновения коротких замыканий (КЗ) в распределительных сетях систем электроснабжения (СЭС) с глухозаземленной нейтралью является одной из основных проблем эксплуатационного персонала и представляет собой актуальную задачу.

Наиболее перспективным вариантом достижения озвученной задачи является организация постоянного объективного контроля за состоянием электрической изоляции. Одним из способов его реализации является построение системы контроля состояния изоляции (СКСИ) постоянной по принципу контроля токов утечки всех отходящих линий, что позволяет существенно уменьшить вероятность возникновения КЗ за счет заблаговременного обнаружения развивающегося дефекта изоляции. Разработанная принципиально новая СКСИ электрических сетей позволяет перейти от борьбы с последствиями нарушений изоляции и возникновений коротких замыканий к их предупреждению.

Разрабатываемая система предназначена для мониторинга состояния изоляции в распределительных сетях с целью прогнозирования, планирования профилактических мероприятий и ремонтных работ для предотвращения пробоев изоляции и замыканий.

Система СКСИ работает по принципу измерения переменного тока нулевой последовательности, путем преобразования магнитного поля, создаваемого трехфазными токами в контролируемой цепи в аналоговые сигналы, которые преобразуются в цифровые данные. Реализация такой системы позволит преодолеть серьезную проблему – малую чувствительность измерительных трансформаторов.

Использование СКСИ в составе программно-аппаратного комплекса даст возможность непрерывного мониторинга всех контролируемых присоединений, что необходимо для прогноза возможных КЗ в сети с достаточным для оперативных мероприятий запасом времени.

Библиографический список

1. **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).
2. **Тишков А.А.**, Колесник И.В. Модель развития локальных дефектов электрической изоляции в распределительной сети системы электроснабжения с изолированной нейтралью. – Военный инженер. – 2017. – № 3 (5).

*А.Ф. Андреев, магистрант;
рук. Ю.В. Бладыко, к.т.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)*

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРОВОДА С УЧЕТОМ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ

В проектной практике уравнение состояния провода воздушной линии решают для неоднородной нити путем введения приведенной равномерно распределенной по длине пролета нагрузки.

Длина эквивалентного провода определяется при этом как

$$L = l + \frac{q^2 \cdot l^3 \cdot K^2}{24 \cdot H^2},$$

где l – длина пролета;

q – погонный вес провода;

H – тяжесть в проводе;

K – коэффициент нагрузки, учитывающий сосредоточенные силы.

Из разности длин провода в двух режимах, из которых один исходный (с индексом 0), получают уравнение состояния:

$$\sigma - \frac{\hat{\gamma}^2 El^2}{24\sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\hat{\gamma}_0^2 El^2}{24\sigma_0^2} - \alpha E(t - t_0),$$

где $\hat{\gamma} = \gamma K$, $\hat{\gamma}_0 = \gamma_0 K_0$ – эквивалентные удельные погонные нагрузки на провод;

$\gamma = q / F$ – удельные погонные нагрузки на провод;

$\sigma = H / F$ – напряжение в проводе;

F – площадь сечения провода; E – модуль упругости провода;

α – коэффициент температурного удлинения провода;

t – температура провода.

Уравнение состояния позволяет определить тяжесть после изменения числа сосредоточенных нагрузок, например, после установки распорок, подвешивания заградительных шаров, крепления отпаек.

Коэффициент нагрузки при одной сосредоточенной силе в середине пролета определяется по формуле

$$K^2 = 1 + 3 \cdot \frac{P}{q \cdot l} + 3 \cdot \left(\frac{P}{q \cdot l} \right)^2 = 1 + 3 \cdot K_p \cdot (1 + K_p),$$

где $K_p = P / (ql)$ – коэффициент сосредоточенных сил;

P – суммарный вес всех сосредоточенных нагрузок.

*В.В. Говорин, студ.; А.Г. Каюмов, асп.;
рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТИРИСТОРНОГО САМОВОЗБУЖДЕНИЯ В ПРОГРАММЕ МАТЛАВ

Система тиристорного самовозбуждения (СТС) гидрогенератора в основном состоит из двух частей, одна из которых используется для подачи постоянного тока в обмотки возбуждения, а другая часть контролирует токи и напряжения возбуждения в нормальных и в аварийных режимах. Питание СТС осуществляется от статорных шин гидрогенератора Γ и преобразуется через силовой трансформатор T в кремниевом тиристоре T/P . Тиристор изменяет переменный ток возбуждения на постоянный ток возбуждения. В качестве автоматического регулирования напряжения (AVR) в данной модели использовался ПИД регулятор. Около 32 сигналов в AVR входит от трансформатора тока (ТТ) и трансформатора напряжения (ТН). Выходные сигналы ТТ и ТН могут меняться при изменении условий работы гидрогенератора. В зависимости от полученных сигналов AVR изменяет значение тока возбуждения, проверив угол, чтобы достичь цели регулирования в конечном счете.

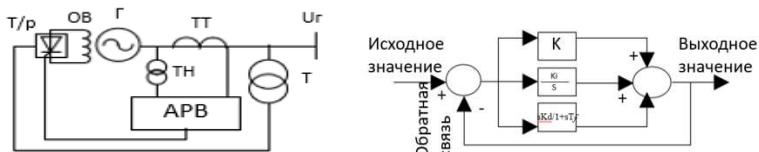


Рис 1. Система тиристорная самовозбуждения и ПИД регулятор

В программном комплексе MATLAB была смоделирована СТС, состоящая из блока генератора Γ , трансформатора T , с передачей мощности через линию электропередачи длиной L в систему S . В линии электропередачи создавался ток короткого замыкания (КЗ). Проанализировано влияние тока КЗ на (AVR). Это влияет на стабильную работу генераторов. После отключения тока КЗ регулятор возбуждения вынуждает генератор быстро восстанавливать стабильность, а генератор работает в пределах статического предела стабильности во всем процессе и обеспечивается стабильность системы. Это особенно важно для стабильной работы генераторов.

Библиографический список

1. **Перельман И.Ф.** Построение силовых схем защит, управления, регулирования диагностики, сервисного современных систем возбуждения. Кабинетный ученый. – Москва - Екатеринбург, 2014. – 380 с.

*В.А. Касимов, магистр;
рук. Р.Г. Минуллин, д.ф.-м.н., проф.,
Т.К. Филимонова, к.ф.-м.н., с.н.с.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Целью данной работы является разработка методики определения уставок по амплитуде и запаздыванию локационного сигнала в режиме обнаружения гололеда на линиях электропередачи (ЛЭП). При этом решается задача: исследование стабильности параметров отраженных импульсов при зондировании ВЧ тракта воздушных ЛЭП и определения предельной чувствительности канала.

Анализ пределов флуктуаций амплитуд $U(t)$ и запаздываний $\Delta\tau(t)$ отраженных сигналов в штатных условиях при отсутствии гололеда был выполнен на линии «КутлуБукаш – Рыбная Слобода» с использованием массива измерений за 2010–2012 гг., а также на линиях «КутлуБукаш – Кулуши», «КутлуБукаш – Нырты» и «КутлуБукаш – Богатые Сабы» за 2011 г.

Установлено, что существуют устойчивые годовые тренды среднемесячных значений амплитуд U сигнала, достигающих 10 % от величины амплитуды штатного сигнала в зимнее время. Кроме того, имеют место случайные флуктуации текущих значений амплитуд U в доверительных границах ± 15 % относительно среднемесячного значения с вероятностью 0,997. При этом погрешность измерения амплитуды отраженных сигналов не превышает ± 1 %.

Также установлено, что при измерениях запаздывания $\Delta\tau$ для линий длиной около 40 км годовой тренд среднемесячных значений не превышает 0,3 мкс, суточные случайные вариации $\Delta\tau$ находятся в пределах $\pm 0,25$ мкс с вероятностью 0,997. При этом погрешность измерения запаздывания $\Delta\tau$ отраженных импульсов определяется дискретностью отсчетов АЦП, которая равна 0,08 мкс. Можно утверждать, что среди причин, определяющих запаздывание $\Delta\tau$ отраженных импульсных сигналов, температурные влияния являются преобладающими.

Уставки по U и $\Delta\tau$ необходимо выбирать с учетом их возможных вариаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению № 14.574.21.0141 от 26 сентября 2017 года уникальный идентификатор проекта RFMEFI57417X041.

Н.Д. Кузнецова, студ.;
С.В. Митрофанов, к.т.н.

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА УРОВЕНЬ ПОТЕРЬ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

На сегодняшний день развиваются такие технологии как электроснабжение с помощью возобновляемых источников энергии, смешанные системы электроснабжения, технологии SmartGrid, распределенной генерации, в том числе и активный потребитель. Эти технологии активно развиваются в мире, а также и в России. Кроме того, в планах Минэнерго к 2018 году разрешить потребителям выдавать до 15 кВт электроэнергии в электрическую сеть. В связи с этим становится актуальным анализ влияния активных потребителей на энергосистему. В частности, это актуально для систем малой мощности, автономных систем электроснабжения в виду соизмеримости мощности генерации и нагрузки. В данной статье планируется рассмотрение энергосистемы поселка мощностью 213,5 кВт. Основная нагрузка которой складывается из бытовых потребителей, а также имеется школа, фельдшерско-акушерский пункт (ФАП), детский сад, три магазина, отделение почты, дом управления и три лесопилки. В качестве источника питания используются три газопоршневые установки мощностью 74 кВт каждая. В этой энергосистеме было рассмотрено влияние распределенной генерации на режим работы сети и степень загрузки основного генерирующего оборудования. Для оценки режима был произведен расчет режима данной автономной энергосистемы поселка в программе Neplan. В программе были заданы параметры нагрузки, параметры источника энергии, а также длины и параметры воздушных линий. Расчет режима показал, что наличие активных потребителей привело к снижению потерь мощности в сети. При отсутствии систем выработки у потребителей потери активной мощности в сети составили 11,745 кВт, а после введения активных потребителей потери активной мощности в сети снизились и составили 9,759 кВт. В результате можно сделать вывод, что участие активных потребителей в энергосистеме позволяет снизить не только непосредственно выработку электроэнергии на электростанции, но и приводит к снижению потерь в сети.

Библиографический список

1. **Лыкин А.В.** Электрические системы и сети: учебник / А.В. Лыкин; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 363 с.
2. **Кобец Б.Б.,** Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SMART GRID. – М.: ИАЦ Энергия, 2010.

А.И. Марченко, асп.;
рук. А.Г. Фишов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ УЧЁТ СИСТЕМНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ СИНХРОННОЙ РАБОТЕ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Дальнейшее развитие энергосистем на основе источников малой распределенной генерации (РМГ) – прослеживающийся тренд в современной энергетике. В России принята программа «Национально-технологическая инициатива», в которой обозначена дорожная карта в электроэнергетики «EnergyNet» подразумевающая: развитие распределенной энергетики как сферы частного бизнеса, надежные и гибкие электрические сети, появление новых потребительских сервисов. Радикальным и современным решением проблемы электро- и теплоснабжения на долгосрочную перспективу является развитие РМГ путем реконструкции существующих котельных с их переводом на газ и водоугольное топливо, т.е. модернизацией и превращением их в локальные ТЭЦ, а также строительство новых с когенерационными установками. Учитывая, что для надежной работы РМГ необходимо её подключение на параллельную работу к электрическим сетям на кафедре Автоматизированных электроэнергетических систем НГТУ разработана автоматика управления режимом синхронной работы РМГ с электрической сетью [1]. РМГ при работе в электрической сети создает положительные системные эффекты, которые возможно в виде «электроэнергетических услуг» коммерциализировать на розничном рынке электроэнергии. Разработка устройств интеллектуального учёта услуг концепции Smart Metering при синхронной работе РМГ является актуальной технической задачей. Новая система учета приобретает свойства Интеллектуальной, т.к. сложность выполняемых операций при учете значительно выше существующей. Интеллектуальный учет подразумевает контроль режимных параметров в сети, оценку на их основе возникающих положительных системных эффектов и распределение между субъектами рынка сетевой компанией, РМГ и потребителями степени участия в ведении режима, обеспечении качества и надежности электроснабжения.

Библиографический список

1. **Марченко А.И.,** Фишов А.Г. Автоматика опережающего деления в схемах присоединения малой генерации к электрической сети // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2017. – № 5. – С. 8 – 18.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

В настоящее время вектор развития электроэнергетики направлен на создание интеллектуальной электроэнергетической системы (Smart Grid), которая обеспечивает потребителей надежным и качественным электропитанием. Фундаментом любой умной энергосистемы являются гибкие (управляемые) системы переменного тока (FACTS), предназначенные для поддержания устойчивости функционирования энергосистемы. К данному классу устройств относятся трансформаторные устройства с полупроводниковым коммутатором, которые воздействуют либо на фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением (ФПУ), либо на величину выходного напряжения (тиристорные регуляторы переменного напряжения). Путем объединения свойств фазоповоротного устройства и тиристорного регулятора переменного напряжения возможно создать топологию трансформаторного устройства с полупроводниковым коммутатором, который будет воздействовать как на фазовый сдвиг вектора выходного напряжения, так и на его величину, с помощью создания в вольтодобавочного напряжения, отстающего или опережающего характера от тока в линии на угол 90 эл. град. Простейший пример участка линии электропередачи с установленным трансформаторным устройством продольной компенсации представлен на рисунке 1.

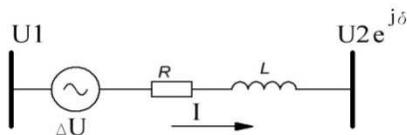


Рис. 1. Участок линии электропередачи с вольтодобавочным устройством продольной компенсации

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.

*Г.В. Маслакова, асс.
(ЛГТУ, г. Липецк);
рук. Е.А. Чащин, к.т.н., доц.
(КГТА им. В.А. Дегтярева, г. Ковров)*

УСЛОВИЯ ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Исследования, выполненные нами ранее [1] показали возможность резервирования электропитания привода ответственных механизмов использованием стартерных аккумуляторных батарей (АБ). В работе выполнена оценка возможности использования типовой АБ бст132 для резервирования электропитания асинхронного электродвигателя (АД) номинальной мощностью 4,5 кВт. Показано, что при разряде АБ в допустимых пределах [2], не ниже 33 % от номинального заряда, на интервале времени до 10 с, данный тип АБ вырабатывает мгновенную мощность более 6,5 кВт, что на 40 % превышает значение номинальной мощности используемого электропривода. Это показывает возможность резервирования электропитания использованием АБ совместно с инвертором на протяжении всего интервала времени, достаточного для завершения рабочего цикла в случае отказа основного питания в момент работы АД. Так же показано, что в случае применения АБ для самозапуска остановившегося АД, из-за необходимости компенсации пусковых токов, использование одной АБ будет сопровождаться глубоким разрядом АБ, что не позволит использовать ее повторно. Результаты расчета показали, что в условиях самозапуска АД количество АБ должно быть увеличено до 7 шт. При этом время наработки на отказ, лимитируемое количеством отказов хотя бы одного элемента из АБ, снизится с 18 до 0,79 мес.

Т.о. показано, что резервирование электропитания АД приводов ответственных механизмов мощностью 4,5 кВт возможно использованием стартерных АБ бст132 в отсутствие перехода АД в режим самозапуска, что выполнимо при условии переключения на резервное электропитание в течение времени менее 0,2 с.

Библиографический список

1. **Квашнина Г.В.**, Чащин Е.А., Борзов С.Р., Ефремов В.Г. Выбор аккумуляторной батареи для резервирования электропитания привода лифта по одномодульной схеме. – Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». Т. 8. – №3 (2016). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/20TVN316.pdf>.
2. **Боровских Ю.И.**, Буралев Ю.В., Морозов К.А. Устройство автомобилей: практическое пособие. – М., Высш. шк., 1989. – 288 с.

И.С. Мурашкина, студ.;
рук. Д.В. Танфильева, к.т.н., доц.;
А.И. Марченко, асп.,
рук. А.Г. Фишов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА ПРИ ВНЕДРЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В Республике Казахстан в последнее десятилетие наблюдается значительный рост электропотребления. Однако покрытие всей нагрузки и устранение небалансов мощности, на данный момент, осуществляется за счет предельной загрузки существующих станций, а также покупки электроэнергии в РФ. С возрастанием величины нагрузки и мощности межсистемных перетоков электроэнергии произошло увеличение количества системных аварий, в результате расследования которых было принято решение на государственном уровне о развитии распределенной малой генерации (РМГ). В работе проведен анализ особенностей функционирования энергосистемы Восточного Казахстана, дана оценка эффективности применения РМГ, а также технологическая возможность схемно-режимных вариантов присоединения на параллельную работу с помощью специальной автоматики станций РМГ в энергосистему с целью устранения локального дефицита электрической энергии. Выполнено расчетное моделирование и исследование управления энергосистемой Казахстана в перспективе развития и дальнейшего внедрения РМГ при её синхронной работе в электрической сети. Экспериментальные исследования по данной работе выполнены на физической электродинамической модели энергосистемы, где проведены испытания основных выполняемых функций прототипа режимной и противоаварийной автоматики энергосистем с распределенной малой генерацией, и доказана её работоспособность [1]. Данная автоматика позволяет подключать системы автономного энергоснабжения на базе РМГ к электрической сети энергосистемы, работать синхронно в режимах выдачи или потребления мощности, и тем самым покрывать локальные дефициты, регулировать график нагрузки, обеспечивать надежность и необходимый уровень качества электроэнергии.

Библиографический список

1. **Марченко А.И.,** Фишов А.Г. Автоматика опережающего деления в схемах присоединения малой генерации к электрической сети // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2017. – № 5. – С. 8 – 18.

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

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Современное мировое состояние энергосистемы обозначает необходимость разработки, с последующим внедрением в требуемые места установки, устройств, способных управлять режимами работы линий электропередачи (ЛЭП), повышать качество поставляемой потребителям электроэнергии. Решением данных задач занимаются специализированные устройства гибкой передачи переменного тока (FACTS). К данному типу устройств относятся трансформаторные устройства продольной компенсации. Высокие требования к быстродействию реакции такого устройства на изменяющиеся в темпе процесса параметры энергосистемы, большое количество полупроводниковых ключей и аналоговых величин, мониторинг которых гарантирует корректную работу, дистанционное управление, необходимое для обеспечения качественной оценки операторским пунктом текущих параметров энергосистемы и внешнего воздействия на конфигурацию устройства, предъявляет высокие требования системе управления устройством. Система управления должна реализовывать следующие требования: формирование сигналов управления; прием и обработка сигналов с датчиков тока и напряжения; мониторинг параметров энергосистемы; прием, обработка информации, поступающей от диспетчера, и ответная отсылка информации по запросу; мгновенная перевод устройства в режим защиты элементов устройства и т.д.

Производство и разработка современных отечественных микроконтроллеров активно развивается. На данный момент лидерами в этой области являются АО «ПКК Миландр» и АО «НИИЭТ», которые разрабатывают микроконтроллеры, построенные на различной архитектуре с широким спектром внедряемости.

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.

*Р.И. Саубанов, студ.;
рук. М.Ш. Гарифуллин, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВ РПН СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Массовое применение силовых трансформаторов в нашей стране началось с ноября 1928 года, когда начал работу Московский трансформаторный завод. Устройства РПН для регулируемых трансформаторов имеют свою историю более 85 лет [1].

Устройство РПН – дорогостоящий, сложный и ненадёжный элемент силового трансформатора. По разным данным 35 – 60 % общих отказов трансформаторов связано с повреждением РПН [2].

В настоящее время на рынке множество как зарубежных, так и отечественных компаний занимающихся системами контроля состояния силовых трансформаторов и устройств РПН. Многие системы не рассматривают устройства РПН при контроле состояния силового трансформатора. Во многих существующих системах процесс мониторинга состояния устройства РПН ограничено контролем одного-двух параметров.

Целью ставится создание системы контроля состояния устройств РПН, которая будет ориентирована на снижение эксплуатационных расходов в течение всего срока службы, сокращение простоя трансформатора, отсутствие продуктов горения в масле, уменьшение необходимости замены контакторов и избирателя. Комплекс мероприятий по контролю устройств РПН силового трансформатора должен включать контроль множества параметров. Виброакустический метод диагностики, динамическое измерение сопротивления, измерение температуры, снятие круговой диаграммы, снятие временной диаграммы работы контакторов, анализ газов, измерение потребляемой мощности привода устройства РПН позволит фиксировать необходимые параметры для определения состояния работающего оборудования.

Библиографический список

1. **Эволюция** силовых трансформаторов [Электронный ресурс]: ТД Трансформатор – электрические трансформаторы. – Режим доступа: <http://www.tdtransformator.ru/podderzhka/stati/statya1/>, свободный. (Дата обращения: 07.01.17).

2. **Проблема** надежности устройств РПН силовых трансформаторов: Материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции «Тинчуриинские чтения» / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллаязнова. – В 3 т.; Т. 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 440 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСИИ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Численно и экспериментально исследованы параметры дисперсии сигналов напряжения переходного процесса (ПП) в распределительных сетях с воздушными линиями (ВЛ) при возникновении коммутаций. Дисперсия проявляется в виде длительности переднего фронта сигнала ПП с увеличением расстояния от места аварии [1], одновременно уменьшается амплитуда сигнала ПП. Это приводит к увеличению погрешности работы комплекса определения места повреждения волновым методом (ВОМП) [2] из-за сложности регистрации момента возникновения сигнала ПП.

Параметры дисперсии анализируются на примере реальных осциллограмм, зафиксированных на линиях 10 кВ и с использованием моделирования в среде PSCAD. При моделировании учитываются переходные характеристики входных аппаратных цепей измерителя. Приведены результаты статистической обработки экспериментально зарегистрированных осциллограмм. Подбором параметров модели линии электропередач в среде PSCAD получены модельные осциллограммы сигналов напряжения ПП, имеющие параметры дисперсии тождественные экспериментально зарегистрированным. Численно оценена степень влияния каждого из параметров модели линии на параметры дисперсии. Сделан вывод, что с увеличением расстояния пройденного сигналом ПП, амплитуда сигнала уменьшается меньше, чем увеличивается длительность переднего фронта.

Влияние дисперсии сигналов сильно сказывается на погрешности работы комплекса ВОМП. Численно на экспериментально зарегистрированных осциллограммах сравниваются результаты определения времени начала сигнала ПП разными алгоритмами.

Библиографический список

1. **Тукаев С.М.** Исследование временных параметров сигналов напряжения переходного процесса в распределительных сетях 6 – 10 кВ / Тукаев С.М., Хузяшев Р.Г. [и др.] // Электротехнические комплексы и системы. – Уфа, 2017. – 147 с.
2. **Смирнов А.Н.** Волновой метод двухсторонних измерений для определения места повреждения воздушной линии электропередачи 110 – 220 кВ. – М., 2015.

А.С. Ширяев, асп.;
рук. С.С. Гиришин, к.т.н., доц.
(ОмГТУ, г. Омск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМУМА ПРИВЕДЁННЫХ ЗАТРАТ ПРИ СНИЖЕНИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Одной из основных задач государства, направленных на развитие социально-экономического уровня страны является повышение эффективности управления электроэнергетической отраслью. В электроэнергетике, важнейшей задачей является управление уровнем потерь электрической энергии. Решение данной проблемы основано на устранении коммерческой и технической составляющих потерь электроэнергии. Поскольку вторая составляющая данной проблемы требует изменения характеристик сети, значительных капитальных вложений, то необходима разработка методов, позволяющих решать данную задачу в соответствии с оптимальным законом целевой функции. Подробное описание задач расчёта потерь электроэнергии изложено в [1 – 2].

За целевую функцию принято считать приведённые затраты

$$Z = 0,14 \cdot K + I_{\text{ПМ}} - I_{\text{ИСХ}} + 3,2 \cdot (W_{\text{ПМ}} - W_{\text{ИСХ}}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

При решении данной задачи целесообразно рассматривать комбинации наиболее распространённых технических мероприятий, какими являются: замена провода меньшего сечения на провод большего сечения, компенсация реактивной мощности (с помощью батарей статических конденсаторов), замена недогруженных (перегруженных) трансформаторов.

Как показывают результаты расчётов [3], данный подход позволяет в значительной степени обеспечить наиболее рациональный подход к снижению потерь электроэнергии и может быть рекомендован для практического использования.

Библиографический список

1. **Железко Ю.С.** Потери электроэнергии, реактивная мощность, качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
2. **Воротницкий В.Э.,** Калинкина М.А. Расчёт, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие. 3-е стереотип. изд. – М.: ИПК госслужбы. 2003. – 64 с.
3. **Гиришин С.С.** Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в неразветвленной сети с учетом температуры токоведущих частей / С.С. Гиришин, А.С. Ширяев, А.А. Ляшков и др. // Омский научный вестник. – 2017. – № 2 (152) . – С. 50 – 54.

*И.А. Горбунов, П.О. Мельникова,
М.В. Зотова, магистранты;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС С УПРАВЛЯЕМЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Для исключения аварийных режимов работы ЭЭС при проектировании новых участков сетей необходимо решать вопросы, связанные с обеспечением устойчивой параллельной работы генераторов. Среди известных устройств, обеспечивающих возможность регулирования потока мощности в линиях электропередачи, наибольшее применение нашли устройства продольной компенсации с тиристорным управлением (ТУПК). А для регулирования напряжения в режимах минимальных нагрузок нашли применение управляемые шунтирующие реакторы [1]. В работе рассматривается линия 500 кВ с одним и двумя ТУПК и УШР. Цель работы заключалась в исследовании статической и динамической устойчивости системы и влиянии на нее числа установок УПК, величины степени компенсации, наличия АРВ генераторов, а также в обосновании выбора числа управляемых шунтирующих реакторов и построении областей D-разбиения. В ходе работы были построены угловые характеристики мощности ЭЭС с одним и двумя УПК, управляемыми и неуправляемыми шунтирующими реакторами. Кроме того, была исследована динамическая устойчивость ЭЭС. Получены зависимости углов открытия тиристорных УПК и УШР, в зависимости от тока и напряжения. Построены области D-разбиения настроечных коэффициентов АРВ генератора. Проведенный анализ показал, что использование двух УПК несколько понижает максимум угловых характеристик мощности ЭЭС, но необходимый для обеспечения статической устойчивости запас мощности остается. Кроме того, при увеличении степени компенсации (K_2) повышается предел мощности по статической устойчивости и уменьшается время переходных процессов в ЭЭС. В свою очередь, применение УШР положительно сказывается на уровнях напряжения в узлах системы и расширяет границы области D-разбиения настроечных коэффициентов АРВ генератора.

Библиографический список

1. **Голов В.П.**, Мартиросян А.А., Москвин И.А. Расчет характеристик установившихся режимов электроэнергетической системы с регулируемым устройством продольной компенсации // Вестник ИГЭУ. – 2012. – № 6. – С. 18 – 22.

Н.А. Градов, Е.С. Скоропеева, студ.;
рук. Д.Н. Кормилицын
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ НА СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС

В настоящее время режимы работы электроэнергетической системы (ЭЭС) России характеризуются существенным изменением потоков мощности по дальним линиям электропередачи сверхвысокого напряжения (ДЛЭП СВН). Тенденция повышения пределов статической и динамической устойчивости обусловлена необходимостью обеспечения эффективности и надежности функционирования электроэнергетической системы [1].

Целью данной работы является построение областей устойчивости ЭЭС с управляемой ЛЭП с помощью вычислительного эксперимента по полной математической модели при «малых» возмущениях.

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

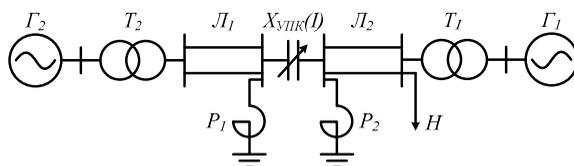


Рис. 1. Исследуемая электрическая схема

На разработанной математической модели данной электроэнергетической системы произведен вычислительный эксперимент и получены области статической устойчивости для обоих генераторов. Также проведено исследование влияния состава и мощности нагрузки на области статической устойчивости, а также влияние коэффициента, определяющего степень регулирования емкостного сопротивления УУПК, на области статической устойчивости.

Библиографический список

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

Я.Н. Евтифьев, студ.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ЭЭС

Самовозбуждение – электромагнитная неустойчивость, возникающая при определенном соотношении реактивного сопротивления машины и ёмкостного сопротивления, включенного на её зажимы. Самовозбуждение характеризуется самопроизвольным ростом токов и напряжений во всех элементах системы, приводящий к повреждению оборудования. Поэтому необходимо изучать данное явление, условия его возникновения и средства борьбы с ним.

В докладе при исследовании данного явления используется программный комплекс «Matlab».

Система дифференциальных уравнений решается в программном комплексе «Matlab» относительно токов статора с преобразованием в фазные координаты. Результаты представлены на рисунках 1, 2.

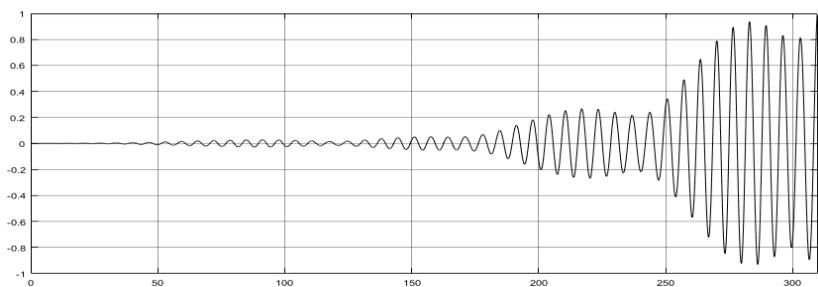


Рис. 1. Изменение тока при асинхронном самовозбуждении, $X_c = 0,17$ и $R = 0,02$

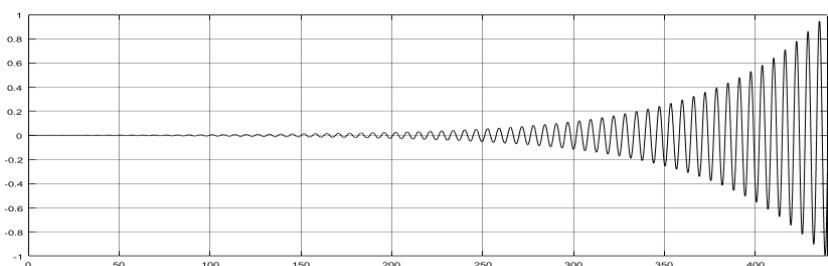


Рис. 2. Изменение тока при синхронном самовозбуждении, $X_c = 0,28$ и $R = 0,008$

В.А. Егоров, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В настоящее время на воздушных линиях электропередачи применяются провода инновационных марок с целью повышения пропускной способности и повышения надежности электрических сетей [1].

Одним из важных элементов проектирования воздушных линий электропередачи является расчет проводов на механическую прочность и выбор надежной конструкции опоры [2].

Цель работы – выполнение механического расчета традиционного провода АС-240/32 и провода нового поколения АССР 470-Т16 (238/39) для сравнения их прочности и выявления климатических условий для Белгородской области, при которых возникают наибольшие напряжения в материалах проводов и максимальные стрелы провеса.

Проведено сравнение следующих результатов расчета:

- критических пролетов для различных климатических условий (режим наибольших нагрузок при гололеде, режим низшей температуры воздуха и режим среднегодовой температуры);
- стрел провеса проводов в режиме максимальной температуры воздуха и в режиме гололеда на проводах.

Установлено, что режим наибольшей нагрузки (гололед) является расчетным для проверки механической прочности обеих марок проводов при длине действительного пролета 300 м.

Выявлены одинаковые климатические условия (режим гололеда без ветра), в которых на линии возникает максимальная стрела провеса, однако для провода АССР470-Т16, имеющего пониженный коэффициент температурного расширения, стрела провеса составила 7,6 м, а для АС-240/32 – 10,3 м.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании развития и реконструкции электрических сетей.

Библиографический список

1. **Положение** ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. Утверждено Советом директоров ОАО «Россети» 22.02.2017.
2. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ). – Изд. 7, раздел 2. – 2016.

*М.В. Зотова, И.А. Гаспарян,
А.Р. Гордеева, студ.;*
*рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА КПД ЛИНИИ

Передача энергии по линии электропередачи от источника энергии к потребителю обычно будет оправдана лишь в случае, если потери энергии не будут слишком велики, т.е. если КПД передачи достаточно велик. Величина КПД зависит от параметров линии (r_0, g_0, x_0, b_0) и режима (U_1, U_2, P_1, P_2), в котором данная линия работает. Для современной передачи КПД при любой длине линии может быть достаточно высок (больше 90 %). При проектировании передачи необходимо увеличивать напряжение линии и сечение ее проводов с увеличением длины, чтобы КПД линии не уменьшался. Таким образом, КПД линии и передачи в целом является весьма характерной величиной, определяющей выбор параметров передачи и в ряде случаев решающим образом влияющий на ее режим.

Анализа влияния законов регулирования управляемого устройства продольной компенсации рассматривается на примере электроэнергетической системы без устройства продольной компенсации, с одним управляемым УПК в середине линии и с двумя управляемыми УПК.

Получены зависимости КПД линии от передаваемой активной мощности по линии при различных законах регулирования УПК и при различных значениях сопротивления емкости в УПК.

Из результатов расчета видно, что с применением управляемых устройств продольной компенсации КПД линии возрастает на 0,5 – 1 %, что свидетельствует о его экономической эффективности. При этом КПД сильно зависит не только от закона регулирования сопротивления в УПК но и от количества устройств продольной компенсации и от места их установки [1].

Библиографический список

1. **Мартиросян А.А.** Выбор места установки и законов регулирования устройств продольной емкостной компенсации для повышения устойчивости электроэнергетической системы / А.А. Мартиросян, М.В. Зотова, Д.Н. Кормилицын // Вестник ИГЭУ. – 2017. – Вып. 4. – С. 30 – 36.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУНКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЭНЕРГИЯ»

Пункт автоматического регулирования напряжения предназначен для регулирования напряжения электрических сетей с любым способом заземления нейтрали трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением 6 и 10 кВ, номинальным током до 600 А.

Сегодня возникает необходимость моделирования ПАРН в различных программных комплексах для расчетов установившихся режимов и анализа влияния данного устройства на основные характеристики электрической сети. Но проблема состоит в том, что устройство ПАРН регулирует напряжение за счет изменения коэффициента трансформации, при этом фиксируется и контролируется напряжение на его выходе, а традиционные алгоритмы фиксирующие модули напряжения определяют инъекцию реактивной мощности в узел.

С помощью программного комплекса «MathCad» проведено моделирование устройства ПАРН для определения алгоритма его учета. Таким образом, для реализации расчета установившихся режимов с учетом ПАРН в программном комплексе «Энергия» требуется дополнить список объектов устройством ПАРН, в котором необходимо задать следующие параметры: номинальная мощность, номинальное напряжение, потери холостого хода, потери короткого замыкания, напряжение короткого замыкания, ток холостого хода, диапазон регулирования, ступени регулирования и уставка по напряжению.

Далее в программном комплексе «Энергия» исследовалось влияние устройства ПАРН на напряжение участка электрической сети 10 кВ, состоящей из одноцепной линии электропередач общей протяженностью 20 км и распределенной нагрузки.

Исследование показало, что использование устройства ПАРН позволит эффективно регулировать напряжение электрической сети, что приведет к снижению потерь в ней и обеспечению качества электроэнергии.

Библиографический список

1. **Перинский Т.В.** Опыт применения пунктов автоматического регулирования напряжения ПАРН серии ВДТ/VR-32 в распределительных электрических сетях 6 – 10 кВ / Т.В. Перинский, А.В. Крылов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012 – № 1. – С. 42 – 48.

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

ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ФСК ДЛЯ ОЦЕНКИ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОТКЛЮЧЕННЫХ ВЛ

Отключенная и выведенная в ремонт воздушная линия электропередачи (ВЛ) может оказаться под напряжением, которое наводится за счет электромагнитной связи с соседней ВЛ. Данная проблема актуальна, так как существует опасность для жизни персонала, занятого ремонтом. Действующие нормы и правила [1] предписывают предприятия составлять специальный перечень линий, на которых наведенное напряжение может оказаться выше 25 В. Работа на таких ВЛ относится к разряду работ под наведенным напряжением и выполняется с соблюдением специальных мер безопасности. В расчете наведенного напряжения по упрощенной методике [2] учитывается модуль тока влияющих ВЛ. В работе производится оценка достоверности расчета по упрощенной методике и выявление влияния на наведенное напряжение фазового угла тока влияющей ВЛ, который определяется соотношением активной и реактивной мощностей и их направлением.

Таблица 1. Величина $U_{\text{нав}}$ при точном моделировании и по методике ФСК

	ВЛ 1			ВЛ 2			$U_{\text{нав}}, \text{В}$	$\Delta, \%$
	I, кА	P, МВА	Q, Мвар	I, кА	P, МВА	Q, Мвар		
ФСК	1,788	–	–	1,573	–	–	454,5	8
Модель 1	1,776	1283	929	1,578	1102	817	420	0
Модель 2	1,778	–1283	–929	1,576	1101	817	186	144
Модель 3	1,788	1284	929	1,572	–1120	–817	186	144
Модель 4	1,788	–1270	–929	1,574	–1123	–817	420	8

Результаты моделирования показывают, что при неизменном модуле тока, но разных величинах мощности нагрузки влияющих ВЛ, значения наведенного напряжения могут отличаться от значений, рассчитанных по упрощенной методике. Поэтому расчет наведенного напряжения по упрощенной методике не всегда может оказаться достоверным.

Библиографический список

1. **Правила** по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ), Министерство труда и социального развития РФ, Министерство энергетики. РФ.

2. **СТО 56947007-29.240.55.018-2009.** Методические указания по определению наведенного напряжения на отключенных воздушных линиях, находящихся вблизи действующих ВЛ от 22.01.2009.

Н.Г. Кузнецов, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОКОМПЕНСИРУЮЩЕЙСЯ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ВОЛОГОДСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Актуальной задачей в области электроэнергетики является создание интеллектуальных электроэнергетических систем, основой которых должны быть управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии электропередачи (УСВЛ), осуществляющие изменение собственных эквивалентных параметров и характеристик, в зависимости от режима и значения передаваемой мощности [1 – 2].

Целью работы является оценка эффективности применения УСВЛ в Вологодской энергосистеме с учетом ее развития для повышения пропускной способности транзитной линии 220 кВ Вологда – Архангельск, которая относится к ЕНЭС и обеспечивает надежность Вологодской и Архангельской энергосистем [3].

В результате исследования установлено, что существующая линия круглый год загружена до величины, близкой к аварийно-допустимой (270 – 300 МВт), а в отдельные дни и часы – выше аварийно-допустимой величины.

Выявлены режимные особенности новой УСВЛ, определен максимально допустимый переток (МДП) активной мощности в исследуемом сечении схемы энергосистемы, произведена оценка эффективности применения УСВЛ.

Результаты работы могут быть использованы при разработке схем развития и реконструкции внутрисистемных и межсистемных связей энергосистемы.

Библиографический список

1. **Положение** ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. Утверждено Советом директоров ОАО «Россети» 22.02.2017.
2. **Постолатий В.М.**, Быкова Е.В., Суслов В.М. Управляемые компактные линии электропередачи высокого напряжения // Проблемы региональной энергетики. – 2016. – № 1 (30).
3. **Постановление** Губернатора Вологодской области от 25.06.2015 № 386 «Об утверждении Схемы и программы развития электроэнергетики Вологодской области на 2016 – 2020 годы».

Е.Н. Муравьева, студ.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОД РАСЧЕТА РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ НЕСИММЕТРИИ В ЭЭС

Расчет результирующего сопротивления $Z_{\Sigma MN}$ относительно точек разрыва М и N схемы замещения сложной ЭЭС был представлен в предыдущей работе [1].

Рассматриваемая схема замещения ЭЭС для одной из последовательностей.

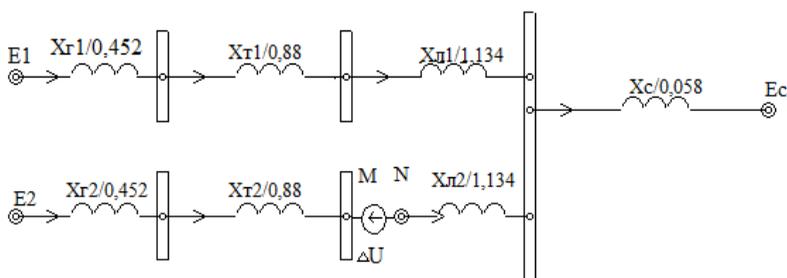


Рис. 1. Схема замещения рассматриваемой ЭЭС

Результирующие сопротивления её для выше перечисленных точек КЗ составляют: $Z_N = 1,19066$, $Z_M = 1,33201$, $Z_{M-N} = 0.629$.

После подстановки этих величин в выражения из [1]:

$$Z_{MN} = 1,861 \cdot 10^6 \text{ о.е.}, Z_{MO} = 1,332 \text{ о.е.}, Z_{NO} = 1,191 \text{ о.е.}$$

Значение результирующего сопротивления $Z_{\Sigma MN}$ для случая разрыва фаз равно 2,523.

Значение результирующего сопротивления $Z_{\Sigma MN}$ методом прямого преобразования схемы (рис. 1) относительно точек разрыва М, N:

о.е.

Сравнение результатов показывает, что предложенный метод применим для расчета результирующего сопротивления схемы ЭЭС при продольной несимметрии.

Библиографический список

1. Электроэнергетика // Двенадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2017»: материалы конференции. В 7 т., Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2017. – С. 38 – 40.

*В.О. Наумов, А.Н. Мошелёва, магистранты;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ДВУХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА БАЗЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На базе существующих телеизмерений невозможно вычислить динамические характеристики энергосистемы, обеспечить мониторинг относительных углов, идентифицировать параметры низкочастотных колебаний и т.д., поэтому развитие технологии СВИ и разработка соответствующего ПО является одной из приоритетных задач, как для мониторинга, так и для задач управления электроэнергетическими режимами ЕЭС России [1].

С учётом этого особую актуальность приобретают возможности динамического определения параметров сетевых элементов с использованием векторных измерений.

Целью исследования является создание расчётной математической модели двухобмоточного трансформатора с различными группами соединения обмоток с учётом влияния ветви намагничивания для идентификации параметров на базе СВИ.

Результатом исследований является разработка математической модели силового трансформатора с учётом ветви намагничивания и её верификация на базе расчётных параметров установившегося режима с помощью программного комплекса Simulink. Полученная модель позволяет определять актуальные параметры двухобмоточного трансформатора по полученным показаниям, снятых с устройств СВИ.

Библиографический список

1. **Цифровая** подстанция: перспективы применения синхронизированных векторных измерений.
2. **Пустоветов М.Ю.** Математическая модель трехфазного трансформатора // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4.
3. **Бернас С., Цёк З.** Математические модели элементов электроэнергетических систем: Пер. с польск. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.

А.А. Пшеничникова, Л.А. Лодыгина, Ю.Д. Климова, студ.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА АПЕРИОДИЧЕСКУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС

В настоящее время уделяется большое внимание на повышение пропускной способности линии электропередачи, что связано с возрастанием

перетоков активной мощности и увеличении числа аварий, возникающих вследствие слабости межсистемных связей. Как было показано ранее [1], эту проблему можно решить с использованием УПК.

Известны два способа выполнения продольной емкостной компенсации – сосредоточенный и распределенный. Если УПК установить в нескольких местах вдоль линии электропередачи, можно добиться снижения напряжения на выводах УПК, использование меньшего количества реакторов, а в некоторых случаях можно обойтись вообще без использования реакторов [2]. Расстояние между УПК выбрано таким образом, чтобы получить наибольшую предельную передаваемую мощность по статической устойчивости и поддерживать напряжение на выводах УПК в допустимых пределах при различных значениях сопротивления емкости УПК [2].

Анализ статических характеристик исследуемой ЭЭС показал, что использование двух УУПК позволяет увеличить предел передаваемой мощности электропередачи по сравнению с одним устройством примерно на 20 %. Кроме того установка двух УПК позволяет поддерживать напряжение на выводах УПК в допустимых пределах при меньшем количестве реакторов, чем при одном УПК.

Библиографический список

1. Голов. В.П. Применение регулируемой компенсации линии электропередач / Изв. Вузов. Энергетика. – 1978. – № 6. – С. 3 – 8.
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.

***А.В. Сидоров, К.Д. Молчагина, студ.;**
рук. Д.Н. Кормилицын
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБНОВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Несмотря на развитие компьютерного моделирования, исследованию и совершенствованию физических моделей также должно уделяться большое количество времени и сил.

Одной из дисциплин, технический комплекс лабораторных работ которой устарел, является «Электромеханические переходные процессы в ЭЭС». Действующие на настоящий момент стенды не раскрывают некоторых важных моментов, важных для изучения дисциплины; не обеспечивают необходимой наглядности и взаимодействия со студентами.

Авторами работы предлагается использование более современных учебных комплектов, созданных ИПЦ «Учебная Техника». Эти стенды реализуют обмен данных с компьютером через плату PCIE-6024 [1], что обеспечивает высокую скорость работы, а также позволяют собрать практически любую схему благодаря большому количеству модулей.

Несмотря на все плюсы, эти стенды имеют и ряд минусов, среди которых в первую очередь следует выделить проблемы с электромагнитной совместимостью, а также нелинейностью некоторых элементов. В ходе исследования была проведена трудоемкая работа по автоматизации измерений и управления схемой; разработаны автоматические регуляторы, позволяющие как точно настроить процесс регулирования с целью получения заданных величин, так и умышленно подобрать неправильные коэффициенты для наблюдения колебательного нарушения устойчивости энергосистемы. Разработана программная оболочка, исключаящая фактор человеческой ошибки при проведении экспериментов и упрощающая взаимодействие студента со стендом. В перспективе у авторов – обновление методического комплекса по внедренному аппаратному обеспечению.

Библиографический список

1. NI 6023E/6024E/6025E Family Specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ni.com/pdf/manuals/370719c.pdf (01.07.2012).

А.Д. Степанов, студ.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ЭЭС НА ЭВМ

В электроэнергетических системах непрерывно происходят переходные процессы. Многочисленные возмущения приводят к изменению режимных параметров. Для проектирования и управления электроэнергетической системой необходима информация о её состоянии в любой момент времени. Её можно получить, используя математические модели элементов, уравнения, связывающие их параметры, и методы их решения. Однако если для простейших схем задача решается даже вручную, то для существующих электроэнергетических систем, содержащих тысячи элементов, это практически невозможно. Поэтому в электроэнергетике применяется компьютерная техника и специализированное программное обеспечение.

В Советском Союзе, а позднее в России было разработано несколько программных комплексов для расчёта переходных процессов. В настоящее время из них используются только MUSTANG, ДАКАР и RUSTAB (в составе программного комплекса RASTRwin). Данные комплексы имеют разные подходы к расчёту переходных процессов, в том числе к математическому моделированию элементов электроэнергетической системы и к методам решения уравнений. В связи с этим встаёт вопрос о сравнении вышеперечисленных программных комплексов с точки зрения методов и результатов расчёта переходных процессов.

В докладе представлены результаты моделирования переходного режима ЭЭС с помощью вышеперечисленных программных средств и с использованием различных математических моделей.

Исследования показали, что результаты расчёта переходных процессов в случае для MUSTANG и RUSTAB зависят от выбранных моделей. Более совершенные модели RUSTAB, отсутствующие в MUSTANG, позволяют анализировать дополнительные факторы, влияющие на ход переходных процессов.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ ЁМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА КОЛЕБАТЕЛЬНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС

Применение продольной ёмкостной компенсации в дальних электропередачах позволяет увеличить пропускную способность линий, а следовательно, повысить надёжность ЭЭС в целом. Однако, при значительной степени компенсации индуктивного сопротивления передачи могут возникнуть проблемы, связанные с колебательным нарушением статической устойчивости ЭЭС [1], а также с недопустимым повышением уровня напряжения на выводах УУПК [2]. Поэтому необходимо осуществить корректный выбор настроечных параметров УУПК с точки зрения сохранения статической устойчивости в возможных рабочих режимах. Кроме того, нужно учитывать взаимное влияние регулируемых устройств: неверный выбор настроечных параметров АРВ также может привести к нарушению устойчивой работы системы. Для корректировки напряжения применяется распределенная компенсация. Выбор оптимального расстояния между несколькими УУПК также является важной задачей.

Распределенная компенсация оказывает благоприятное влияние на колебательную устойчивость режима ЭЭС: область устойчивости в координатах коэффициентов регулирования АРВ в случае с двумя УУПК больше, чем в случае с одним УУПК при аналогичной настройке устройства.

Библиографический список

1. **Голов В.П.** Области колебательной устойчивости изолированной системы из двух станций при вариации характеристики и мощности нагрузки / В.П. Голов [и др.] // Вестник ИГЭУ. – 2015. – № 6. – С. 29 – 34.

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.

*А.В. Калущков;
рук. В.П. Голов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ЛИНИЯМИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Одной из важнейших стратегических задач технической политики ПАО «Россети» является разработка мероприятий по повышению пропускной электрических сетей и снижению в них потерь электрической энергии.

Электрическая сеть имеет сложную структуру, обусловленную территориальным расположением потребителей, источников, требованиями надёжности и другими соображениями. В сети выделяют линии электропередачи, которые соединяют подстанции. Линии могут быть одноцепными и двухцепными, иметь ответвления (отпайки). К подстанциям, как правило, подходит несколько линий.

Основной целью работы является рассмотрение возможности использования некоторых мероприятий, позволяющих проектировать линии 110 кВ вместо 220 кВ с анализом технико-экономических показателей на примере конкретной электрической сети.

Большие капиталовложения в сеть, издержки и сложности структуры сети дают почву для рассмотрения и создания упрощенных схем передачи энергии.

В качестве исходной рассмотрена сеть в ОЭС Западной Сибири. Из данного района были взяты данные о нагрузках, перетоках мощности, оборудовании ПС и ЛЭП, потерях в сети, капиталовложениях, издержках и КПД.

При замене 1 двухцепной линии 220 кВ, на 2 двухцепные линии 110 кВ, получены серьезные структурные изменения в рассматриваемой сети. Расщепление провода в фазе и увеличении цепей ЛЭП приводит

к существенному снижению капиталовложений и издержек. Провода остаются той же марки АС240/32, замена опор не требуется.

Библиографический список

1. **Справочник** по проектированию электрических сетей. Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
2. **Правила** устройства электроустановок. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
3. **Полешук С.И.** Повышение пропускной способности 110 кВ. – М.: Энергия единой сети [28], 2016.

Ю.С. Шибачев, С.В. Чистякова, студ.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС

Управляемая продольная емкостная компенсация, как было показано ранее [1], позволяет повышать не только пропускную способность электропередачи сверхвысокого напряжения, но и улучшать показатели аperiодической статической устойчивости исследуемой ЭЭС. Известны два способа выполнения продольной емкостной компенсации – сосредоточенный и распределенный. Если УПК установить в нескольких местах вдоль линии электропередачи, можно добиться снижения напряжения на выводах УПК, использование меньшего количества реакторов, а в некоторых случаях можно обойтись вообще без использования реакторов [2].

Расчет переходных процессов проводился при возмущениях исходного режима типа наброса активной мощности. Из результатов расчета видно, что в ЭЭС с двумя УУПК переходный процесс длится немного дольше, чем с одним УПК. Это связано с использованием еще одного управляемого устройства. Эта проблема легко решается при правильном выборе значений коэффициентов регулирования АРВ и УУПК.

Таким образом, распределенная продольная компенсация позволяет снизить напряжение на выводах УПК по сравнению со сосредоточенной компенсацией, повышать пропускную электропередачи и при правильном выборе значений коэффициентов АРВ и УУПК улучшать динамическую устойчивость ЭЭС.

Библиографический список

1. **Голов. В.П.** Применение регулируемой компенсации линии электропередач / Изв. Вузов, Энергетика. – 1978. – № 6. – С. 3 – 8.
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.

СЕКЦИЯ 14
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

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

Секретарь – старший преподаватель
Полкошников Д.А.

*М.Б. Абдуллозода, магистрант;
рук. Х.У. Каландаров, к.т.н.
(ХПИТТУ, г. Худжанд)*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ АУДИТОРИИ УЧЕБНОГО КОРПУСА

В настоящее время одним из ключевых направлений энергетики является энергосбережение. В системе энергетики Республики Таджикистан введены в действие мероприятия по энергосбережению, в частности в системе освещения общественных и гражданских зданий.

В качестве анализа данного вопроса в работе рассмотрено расчёт энергосбережения в системе освещения учебного корпуса инженерно-экономического факультета (ИЭФ) Худжандского политехнического института Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими (ХПИТТУ).

Для расчёта годового расхода электроэнергии на освещение аудитории учебного корпуса ИЭФ в качестве исходных данных были приняты следующие: площадь лекционной аудитории И202 – $S = 52,2 \text{ м}^2$; освещенность рабочей поверхности – 300 лк; коэффициент одновременности $K_o = 0,95$ (табл. 2.6 [1]); коэффициент спроса. $K_c = 0,8$ (табл. 2.8 [1]); продолжительность работы осветительных приборов в сутки – $T = 8 \text{ ч}$; количество рабочих дней в году – 250 дней.

Удельная мощность освещения для требуемой освещенности рабочей поверхности (300 лк) $w_i = 21,0 \text{ Вт/м}^2$ принято по нормативным справочникам.

По выражению (1) определяем суточное потребление электроэнергии осветительными приборами для аудитории без учёта естественного освещения [1]:

$$W_{\text{сут}} = w_i \cdot S_i \cdot K_o \cdot K_c \cdot T, \quad (1)$$

Тогда $W_{\text{сут}} = 21,0 \cdot 52,2 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 8 = 6,66 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

По выражению (2) определим годовое потребление электроэнергии с учетом коэффициента запаса освещенности [1]:

$$W_{\text{год}} = W_{\text{сут}} \cdot K_z \cdot n, \quad (2)$$

Тогда, $W_{\text{год}} = 6,66 \cdot 1,2 \cdot 250 = 1998 \text{ кВт}\cdot\text{ч/г}$.

Таким образом, для аудитории И202 предельная норма потребления электроэнергии осветительными приборами равна 1998 кВт ч/г.

Библиографический список

1. Прудник А.М. Энергосбережение в системах освещения. – Минск: БГУИР, 2008. – 28 с.

*Е.В. Абрамченко, соиск.
(ВлГУ),*

*Н.П. Харитонова, главный эксперт
(АО «Янтарьэнерго»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Энергетика России и всего мира стоит на пороге смены парадигмы развития электросетевого хозяйства. До недавнего времени принципы построения электрических сетей практически не менялись, а для обеспечения надёжности и качества электроснабжения закладывалось многократное резервирование на уровне схемных решений. Текущая ситуация в распределительном электросетевом комплексе России достаточно сложна: высокий уровень износа инфраструктуры, аварийности и потерь, слабая автоматизация и информатизация.

Разрозненные попытки решать перечисленные выше проблемы в распредсетях в последние годы уже предпринимались, но наиболее рациональным является комплексное решение – цифровизация электрических сетей. Сущность решения заключается как в модернизации элементной базы с переходом на новый технологический уровень, внедрении АСУ ТП и интеллектуальных систем учета, так и в изменении принципов управления сетями с использованием рационального подхода к расчету и моделированию режимов сети, обеспечиваемых за счет современных методик [1, 2].

В рамках пилотного проекта в Мамоновском и Багратионовском РЭС АО «Янтарьэнерго» создана SCADA-система с функциями удаленного мониторинга и управления. Результатом является снижение недоотпуска электроэнергии при аварийных отключениях (на 59,7 %) и количества обесточенных потребителей (до 4 раз). В перспективе предполагается тиражирование проекта на все районы электрических сетей АО «Янтарьэнерго». Переход к цифровым способам управления обеспечит готовность к появлению распределенной генерации и поддержке новых моделей поведения потребителей.

Библиографический список

1. **Сбитнев С.А.**, Шмелев В.Е., Абрамченко Е.В. Моделирование трехфазной электрической сети малого населенного пункта // Вестник МЭИ. – 2015. – № 6.
2. **Абрамченко Е.В.**, Сбитнев С.А., Шмелев В.Е., Расчет тестовой распределительной сети на основе трехфазных схем замещения // Сб. науч.-техн. статей сотрудников Группы компаний «Россети». – М.: «Электроэнергия. Передача и распределение», 2017. – 184 с.

Е.А. Бульчева, асп.;
рук. С.А. Янченко, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО ВКЛАДА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ОБЩИЙ УРОВЕНЬ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

В настоящее время нормативная база, оценивающая показатели качества электроэнергии (КЭ) и регулирующая гражданско-правовую ответственность за их ухудшение, недостаточно проработана. Это обуславливает распространение методов экспериментального определения фактического вклада потребителей [1 – 2], оперирующих данными измерений в точке общего присоединения (ТОП).

В [1 – 2] энергосистема и потребитель представляются в виде схемы замещения (СЗ), содержащей двухполюсники с эквивалентными сопротивлениями и источниками тока высших гармоник (ВГ). Параметры СЗ рассчитываются по измеренным величинам тока и напряжения искажения.

В [1] по результатам измерений и параметрам СЗ вычисляются составляющие напряжения, характеризующие долевое участие субъектов в снижении КЭ. Считается, что сумма вкладов по напряжению равна напряжению искажения в ТОП.

В тоже время в [2] ставится под сомнение адекватность понятия «долевой вклад» потребителя в общий уровень искажения в связи с продемонстрированным неравенством арифметической суммы вкладов отдельных потребителей величине результирующего искажения напряжения в ТОП. Для количественной оценки искажающего влияния потребителя предлагается применять коэффициент влияния, учитывающий эффекты компенсации за счет несовпадения фаз векторов тока и проводимостей ВГ потребителя и системы.

Описанное противоречие наиболее распространенных методов выявления виновных потребителей обуславливает актуальность дальнейших исследований по данной теме.

Библиографический список

1. **Тулский В.Н.** Развитие методики определения ФВ при оценке качества электрической энергии в точке общего присоединения: дис... канд. техн. наук: 05.14.02 / Тульский Владимир Николаевич; МЭИ. – Москва, 2004. – 134 с.
2. **Федосов Д.С.** Разработка метода оценки влияния потребителей на несинусоидальность и несимметрию напряжений в электрической сети: дис... канд. техн. наук: 05.14.02 / Федосов Денис Сергеевич; ИГТУ. – Иркутск, 2014. – 195 с.

А.И. Викулин, студ.;
рук. А.А. Жданович, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В НОВОСИБИРСКЕ

В настоящее время двигатели внутреннего сгорания оказывают пагубное влияние на окружающую среду и требуют огромного количества, и без того уже истощающихся, топливных ресурсов. Переход на электрическую тягу поспособствует решению этих проблем и предупреждает возникновение новых.

В России на 1 июля 2016 года насчитывается всего 722 электромобиля [1], что составляет 0,0012 % от общего числа автомобилей. К примеру в Норвегии, стране по климату схожему с нашим, доля продажи электромобилей составляет 51,4 %, с каждым годом эта цифра только увеличивается [2]. Из этого вытекает, что объект исследования – это электромобиль и его электрическая часть, а предмет – энергосистема Новосибирска. Целью исследования является обеспечение энергосистемой Новосибирска автомобилей на электрической тяге.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи: 1) Оценить возможность энергосистемы Новосибирска обеспечить электромобили энергией. 2) Изучить места установки зарядных станций и оценить резервы по мощности. 3) Выявить влияние электромобилей на систему электроснабжения. 4) Рассчитать затраты необходимые, для установки зарядных станций.

Население города Новосибирска насчитывает более 1,5 миллионов жителей, большая часть которых использует личный транспорт с ДВС для передвижения, мы предлагаем альтернативу – электромобили, которые по своим качествам во многом превосходят средства передвижения с ДВС. В пределах города достаточно много потенциально возможных мест, подлежащих изучению и расчету возможности установки зарядных станций, что позволит собственникам данного транспорта без потери времени заряжать свой автомобиль. Также использование электромобилей благоприятно влияет на окружающую среду, что немало важно для большого города.

Библиографический список

1. **Аналитическое** агентство автостат / Парк электромобилей в России на середину 2016. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/27302/> (дата обращения: 23.12.2017).
2. **The Independent** / Norway could become world's first fully electric powered country. 2017. URL: <http://www.independent.co.uk/news/science/norway-electric-powered-country-first-fully-green-energy-clean-cars-a7898701.html> (дата обращения: 23.12.2017).
3. **Гужов Н.П.**, Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения: учеб. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.

*А.С. Демидова, асп., О.А. Пронина, магистрант;
рук. А.Б. Лоскутов, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА И МЕСТ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Создание активно-адаптивной электрической сети сопровождается формированием систем мониторинга и управления режимами с применением новых технологий (FACTS, PMU и др.) и устройств для повышения надёжности электроснабжения потребителей. К таким устройствам относится твердотельный регулятор напряжения (ТРН) для распределительных электрических сетей класса напряжения 6 – 20 кВ, разрабатываемый на кафедре «ЭССЭ» в НГТУ.

При переходе к многокольцевым сетям 6 – 20 кВ с параллельно работающими источниками, таким как гексагональные сети [1], возникает вероятность неравномерной загрузки питающих узлов.

При неравномерной загрузке в сети (суточного территориального перераспределения нагрузок в сторону одного из источников) возможно возникновение режимов, когда один из источников будет недогружен, а второй перегружен по отношению к первому. Такие перераспределения и «миграции» нагрузок в течение суток негативно сказываются на оборудовании питающих узлов, оптимальным режимом которых является работа по спрямленному графику нагрузок.

Для исследования влияния числа и мест установки устройств ТРН на управление потокораспределения была создана модель гексагональной распределительной сети. Проанализированы режимы по следующим основным критериям – уровни напряжения в узлах сети и перераспределение потоков мощности между источниками питания.

Исследования показали, что применение устройств типа ТРН повышают качество электроснабжения потребителей, позволяют перераспределять потоки мощности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.574.21.0167 о предоставлении субсидии от 26.09.2017, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57417X0167).

Библиографический список

1. **Лоскутов, А.Б.** Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ / А.Б. Лоскутов, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов // Промышленная энергетика. – 2012. – № 5. – С. 11 – 17.

*Е.В. Крюков, асп.,
В.В. Еременко, маг.;*
*рук. Е.Н. Соснина, профессор кафедры, доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6 – 20 КВ С ТРВДН

В настоящее время идет непрерывный рост требований к повышению качества электрической энергии, которые обуславливают применение более инновационных методов по его поддержанию в установленных ГОСТом требованиях. Также современное развитие энергетики подразумевает переход к интеллектуальной электроэнергетической системе, а существующие методы регулирования напряжения вследствие своего морального износа не позволяют достигнуть заданной цели.

Решить данные проблемы можно с применением твердотельного регулятора величины и фазы вольтодобавочного напряжения (ТРВДН), разработанного авторами. ТРВДН обладает функциями интеллектуального управления параметрами и конфигурацией распределительной электрической сети (РЭС), в том числе: регулирование уровней напряжения; управление потоками активной и реактивной мощностей; управление конфигурацией РЭС.

Для исследования параметров РЭС среднего напряжения с ТРВДН разработаны имитационные компьютерные модели в программном комплексе *PSCAD* при гексагональной конфигурации РЭС, а также при параллельной работе неоднородных кабельной и воздушной ЛЭП. На имитационных моделях проведены исследования зависимостей потоков распределения в линиях от величин составляющих регулировочного напряжения.

Проведенные исследования подтвердили возможность регулирования уровней напряжения, перераспределения потоков мощности и обеспечения оптимальной загрузки ЛЭП с помощью ТРВДН, а также позволили определить оптимальные величины добавочной ЭДС, позволяющие минимизировать потери в сети.

Библиографический список

1. Пат. 2621062 Рос. Федерация : МПК G 05F 1/30. Тиристорное фазоворотное устройство с вольтодобавочным трансформатором для сети среднего напряжения / Соснина Е.Н., Асабин А.А., Кралин А.А., Крюков Е.В.; заявитель и патентообладатель Ниж. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – № 2016127017 ; заявл. 06.07.2016 ; опубл. 31.05.2017, Бюл. № 16.

И.И. Исмоилов, асп.;
рук. Х.У. Каландаров, к.т.н.
(ХПИТУ, г. Худжанд)

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Одним из главных узлов распределительной сети электроэнергетической системы Согдийских электрических сетей Республики Таджикистан являются Худжандские городские электрические сети (ХГЭС). По структуре ХГЭС делится на левобережные и правобережные районные электросети, и их основные потребители являются общественные и гражданские здания и сооружения, насосные станции и промышленные предприятия.

Для анализа потерь напряжения питающих линий ТП в распределительной сети ХГЭС, рассмотрим потребление электроэнергии приёмниками левобережных районных электросетей (ЛРЭС). Количество городских трансформаторных подстанций (ТП) по районным сетям: на ЛРЭС 254 ТП, из них 78 ТП ведомственные. Силовые трансформаторы, установленные на ТП имеют номинальную мощность 63 – 1000 кВ·А, напряжение на питающих линиях ТП ЛРЭС в основном 6 кВ.

По данным потребления активной и реактивной энергии потребителями ЛРЭС на месяц ноябрь 2017 г. на рисунке 1 показана диаграмма потерь напряжения на питающих линиях ТП.

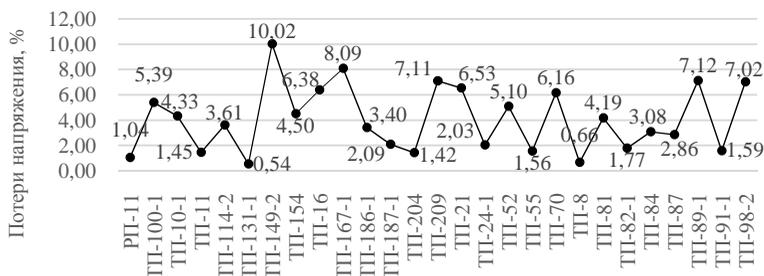


Рис. 1. Диаграмма потерь напряжения на питающих ТП левобережных РЭС

В диаграмме показаны потери напряжения на питающих линиях ТП левобережных РЭС с активной и реактивной нагрузкой. Отметим, что большие значения потерь напряжения связано с большой нагрузкой и длины питающих линий электропередач.

Выводы: 1. Для уменьшения потерь напряжения на питающих линиях ТП с большим процентом необходимо установить ТП вблизи потребителей. 2. Рассмотреть вопрос перегруппировки потребителей ТП.

*Д.В. Каркоцкий, ст. преп., Е.В. Колчин, ст. преп.,
А.Е. Каледа, к.т.н., доц.
(ВА РБ, г. Минск)*

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Важнейшим элементом, без которого немислимо функционирование автономного объекта (АО), является система электроснабжения (СЭС). К системе автономного электроснабжения (САЭС) предъявляются жесткие требования в отношении как энергетических, так и массогабаритных показателей.

Так как САЭС представляет собой сложную техническую систему, в ходе ее проектирования необходимо принятие компромиссных решений, результатом которых должно явиться создание оптимального проекта электростанции АО. Таким образом, проектирование САЭС должно заключаться в интегральном поиске оптимального решения по компоновке электростанции с учетом взаимного влияния ее функциональных подсистем на тактико-технические показатели САЭС.

В настоящее же время основной способ построения САЭС сводится к выбору электроагрегатов (ЭА) согласно максимально требуемой мощности, габаритам ЭА и показателям качества электроэнергии. Такой подход является не допустимым с точки зрения удовлетворения как энергетическим, так и массогабаритным показателям. Таким образом, на сегодняшний день существует необходимость разработки единого подхода, который позволит согласно выбранному показателю оптимальности определить структуру и параметры проектируемой САЭС с учетом требуемых ограничений, в зависимости от условий эксплуатации.

Разрешение указанной проблемы возможно путем решения задачи структурно-параметрического синтеза САЭС согласно комплексному показателю оптимальности «походной массы», характеризующего как конструктивную массу САЭС, так и массу расходуемого топлива [1].

Для решения задачи структурно-параметрического синтеза САЭС построена обобщенная графовая модель САЭС. Причем вершинами графа являются результаты выполнения функциональной операции элементами САЭС, которые изображались дугами графа. Такой способ представления обобщенной структуры САЭС позволил не выбирать наилучший вариант построения САЭС из некоторых фиксированных вариантов, а формировать структуру этой системы по заданному показателю оптимальности непосредственно в процессе решения задачи синтеза.

Библиографический список

1. **Лукутин Б.В.** Формирование энергоэффективных режимов дизельной электростанции инверторного типа // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. – № 6. – С. 80 – 82.

*А.Ю. Кечкин,
Н.И. Эрдили, асп.;*
рук. А.В. Шалухо, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ «ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ»

В программах развития электроэнергетики России и многих зарубежных стран большое внимание уделяется направлению «виртуальных электростанций» (ВиЭС). Термин ВиЭС является новым и вкладываемый в него смысл может несколько отличаться. Выполнен анализ научно-технической и нормативной литературы (более 30 иностранных и отечественных источников), по результатам которого можно сделать следующие выводы.

Одним из первых документов, в котором появился термин ВиЭС, стал проект Европейского союз *"Virtual Fuel Cell Power Plant"* (2002 г.). В нем ВиЭС рассматривалась, как группа, объединенных между собой, децентрализованных когенерационных установок, использующих технологию топливных элементов. При этом не были учтены многие характерные в настоящее время особенности ВиЭС.

В современном понимании определение ВиЭС может быть дано с точки зрения информационного подхода – как облачные центры управления информацией, которые объединяют данные о производстве и потреблении электроэнергии различными распределенными объектами. С учетом возможной структуры наиболее общее определение ВиЭС – это управляемая система, объединяющая разнохарактерные источники малой генерации с накопителями электроэнергии и активными потребителями.

В [1] под ВиЭС понимается система, обеспечивающая интеграцию (агрегирование) объектов распределенной генерации, потребителей с управляемой нагрузкой и накопителей электроэнергии для их совместного участия в рынках электроэнергии, оказания системных услуг и взаимного резервирования.

Библиографический список

1. **План мероприятий** («дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы // Сайт АО «РВК»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rvc.ru/nti/roadmaps/dk_energynet_new.pdf (дата обращения: 11.11.2017, 17.11.2017).

*И.А. Липужин, асп.,
Н.В. Шумский, А.А. Ворошилов, маг.;
рук. А.В. Шалухо, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ИСТОЧНИКАМИ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Расширение использования малой распределенной генерации (МРГ) является актуальным направлением развития энергетики России [1, 2]. Повышение эффективности МРГ связано с их объединением в так называемые «виртуальные электростанции» (ВиЭС).

Большинство исследований вопросов работы ВиЭС связаны с теоретическими расчетами, математическим и компьютерным моделированием. Для более точной оценки особенностей взаимодействия компонентов ВиЭС разработан лабораторный стенд (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторный стенд ВиЭС

В состав лабораторного стенда входят 9 функциональных блоков: источник питания; регулировочный трансформатор; распределительное устройство; активная нагрузка; имитатор ветрогенератора; аккумуляторная нагрузка; двигательная нагрузка; имитатор солнечной электростанции; система управления.

Разработанный стенд создан на базе масштабируемых моделей, имеет модульную конструкцию, что обеспечивает возможность реализации различных вариантов структур электротехнического комплекса ВиЭС.

Стенд также может быть использован для популяризации технологий ВиЭС и подготовке кадров для развивающейся отрасли энергетики – умных сетей с МРГ.

Библиографический список

1. **Энергетическая** стратегия России на период до 2030 года / министерство энергетики РФ, 2009.
2. **Нюшлосс Д., Ряпин И.** Развитие распределенной генерации / Энергетический центр Московской школы управления Сколково, 2012. – 31 с.

*А.Б. Менжинский, Е.В. Колчин;
рук. А.Н. Малашин, к.т.н., доц.
(Военная академия Республики Беларусь, г. Минск)*

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГЕНЕРАТОРА КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА БАЗЕ СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Интерес к исследованию энергоустановок на базе свободнопоршневых двигателей (СПД) обусловлен рядом преимуществ в сравнении с классическими двигателями внутреннего сгорания с кривошипно-шатунным механизмом (ДВС с КШМ): относительной простотой конструкции, на 40 % меньшим количеством элементов, что в 2,5 – 3 раза уменьшает габаритную мощность, удельную массу и металлоемкость СПД [1]. Кроме того, сниженным на 30 % расходом топлива [1]. Также важное конструктивное преимущество энергоустановок на базе СПД – это сравнительно легкое их модульное исполнение. Это повышает их надежность, и живучесть за счет сохранения частичной работоспособности при аварийных отказах части модулей.

Следует отметить, что наряду выше перечисленными преимуществами энергоустановки на базе СПД имеют ряд недостатков. Косновным из них относится чувствительность к несогласованности функционирования механической и электрической подсистем СПД в крайних точках рабочего цикла и возможность пропуска процесса зажигания рабочей смеси.

С целью повышения надежности предотвращения пропуска процесса зажигания рабочей смеси, а также обеспечения полного согласования механической и электрической подсистем СПД в крайних точках рабочего цикла, предлагается использовать генератор комбинированной конструкции (ГКК). В составе ГКК имеется возвратно-поступательный генератор (ВПГ) с продольным приращением магнитного потока, электромагнитная сила которого принимает максимальное значение в крайних точках рабочего цикла СПД.

Структурно-параметрический синтез ГКК для энергоустановки на базе СПД, определяет оптимальную структуру и параметры одного автономного модуля энергоустановки, состоящего из ВПГ различной мощности и типа, по критерию минимум массы энергоустановки с заданными ограничениями.

Библиографический список

1. **Achten**, Peter A. J. Design of a Hydraulic Free-Piston Engine / Peter A. J., Achten, Johan P. J. van der Oever, JeroenPotma E.M. Vael // SAE Off-Highway Engineering. – 2001. – February. – P. 23 – 28.

*А.Н. Обидов, магистрант;
рук. Г.М. Лебедев, д.т.н., проф.
(КузГТУ, г. Кемерово)*

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В системе электроэнергетики Республики Таджикистан Худжандские городские электрические сети (ХГЭС) является одним из важных узлов Открытой акционерной холдинговой компании «Барки Тоҷик». ХГЭС по структуре разделён на два районных электросетей: левобережные и правобережные, соответственно ЛРЭС и ПРЭС. Основными потребителями ХГЭС являются население, общественные здания, промышленные предприятия и насосные скважины водоснабжения.

Для анализа потерь активной и реактивной мощности потребителей ЛРЭС, рассмотрим по данным учёта электроэнергии ХГЭС. Количество трансформаторных подстанций (ТП) городских потребителей ЛРЭС составляет 254 ТП, из них ведомственные 78 ТП. Номинальная мощность силовых трансформаторов, установленных на ТП равно 63 – 1000 кВ·А, а напряжение на питающих линиях большинство ТП 6 кВ.

По данным ХГЭС на рисунке 1 показана диаграмма потерь энергии на месяц ноябрь 2017 г. потребителей ТП левобережных РЭС.



Рис. 1. Диаграмма потерь энергии на ТП левобережных РЭС

В диаграмме показаны потери энергии на питающих ТП потребителей левобережных РЭС с активной и реактивной нагрузкой. Необходимо отметить, что большие значения потерь энергии связаны с большой нагрузкой и длины питающих линий электропередач.

Рекомендации по уменьшению потерь энергии: 1. Для уменьшения потерь энергии потребителей ТП с большим значением необходимо установить устройства для компенсации реактивной мощности.

2. Перегруппировать часть потребителей ТП левобережных РЭС.

*Л.А. Пюро, Н.В. Шумский;
рук. А.И. Гардин, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА РЭС СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ С ТРВДН

Повысить эффективность замкнутых распределительных электрических сетей (РЭС) среднего напряжения можно за счет обеспечения оптимального режима потокораспределения.

Управление потоками мощности может быть реализовано с использованием фазоповоротных устройств (ФПУ) [1]. Исследования доказали эффективность применения ФПУ [2], однако опыт практической эксплуатации в РЭС среднего напряжения 6 – 20 кВ отсутствует.

В рамках ПНИЭР (соглашение от 26.09.2017 г. № 14.577.21.0242) разрабатывается физическая модель участка регулируемой распределительной сети с тиристорными регуляторами величины и фазы вольтодобавочного напряжения (ФМРС ТРВДН).

ФМРС ТРВДН предназначена для моделирования процессов в активно-адаптивных электрических сетях среднего напряжения с изолированной нейтралью, изучения характеристик и режимов функционирования ТРВДН, верификации имитационного моделирования.

ФМРС ТРВДН представляет собой комплекс функциональных блоков, размещенных на единой конструктивной основе. В состав входят две физические модели ТРВДН, модели линий электропередачи, модели комплексной электрической нагрузки, системы измерения и управления. Преимуществом разработки является возможность гибкой конфигурации модулей для проведения экспериментов.

Технические характеристики ФМРС ТРВДН: номинальное напряжение – 380 В; установленная мощность – 1 кВА; диапазон регулирования амплитуды напряжения – $\pm 14\%$; диапазон регулирования фазового угла напряжения – ± 5 градусов; способ регулирования – импульсно-фазовый.

Итоговым результатом ПНИЭР является изготовление экспериментального образца ТРВДН на напряжение 6 кВ.

Библиографический список

1. Пат. на полезную модель №2621062. Тиристорное фазоповоротное устройство с вольтодобавочным трансформатором для сети среднего напряжения / Соснина Е.Н., Асабин А.А., Кралин А.А., Крюков Е.В.; заявитель и патентообладатель Ниж. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – № 2016127017; заявл. 06.07.2016; опубл. 31.05.2017, Бюл. № 16.

2. Гардин А.И., Савельев И.А. Исследование работы фазоповоротных устройств в электрических сетях среднего напряжения. Актуальные проблемы электроэнергетики, Нижний Новгород, НГТУ, 2017, С. 191 – 195.

*М.П. Родцевич, студ., Е.В. Курьяков, асп.;
рук. А.А. Тишков, к.т.н.
(ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Проблемы надежного функционирования систем автономного электроснабжения (САЭ) специальных объектов (СО) существует в связи с совершенствованием и развитием искусственных источников электромагнитных импульсов (ЭМИ). Острота данной проблемы обусловлена тем, что СО насыщены многочисленными электрическими сетями и электротехническим и радиоэлектронным оборудованием. Одними из основных систем, обеспечивающих надежное функционирование и жизнедеятельность СО, являются системы электроснабжения, автоматики и управления.

Острота данной проблемы обусловлена еще и тем, что защита СО и их систем от поражающих факторов ЭМИ создавалась в то время, когда специальные устройства защиты отсутствовали и работы по их созданию только начинались. При этом работы по созданию устройств защиты от ЭМИ на номинальное напряжение 0,4 кВ до настоящего времени не проводились, поэтому разработка таких устройств является своевременной и актуальной задачей.

Устройства защиты от импульсных перенапряжений на номинальное напряжение 0,4 кВ разработаны при участии ВИ(ИТ) ВАМТО впервые и по своим тактико-техническим характеристикам не имеют аналогов в нашей стране и за рубежом. Впервые УЗИП выполнены на основе зонной концепции защиты электрооборудования СО, позволяющей оптимизировать затраты на реализацию мероприятий по защите САЭ от поражающего действия ЭМИ. В разработанных УЗИП применены современные материалы и элементная база отечественного производства. Новизна технического решения УЗИП первого класса защищена патентом.

Библиографический список

1. **Фоминич Э.Н.**, Хромов В.В. Устройства защиты систем автономного электроснабжения от мощных электромагнитных воздействий // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: сб. статей III Всероссийской науч.-практ. конф. – 2016. – С. 474 – 476.
2. **Фоминич Э.Н.**, Филиппов В.Г., Исаков А.В. Универсальное комбинированное устройство для защиты систем электроснабжения 6 (10) кВ от мощных электромагнитных воздействий // Технологии электромагнитной совместимости. – 2013. – № 1 (44). – С. 18 – 22.

М.А. Рожина, ст.преп.;
рук. Н.С. Бурянина, д.т.н., проф.
(СВФУ, г.Якутск)

ОТБОР МОЩНОСТИ ОТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ И ВЫШЕ ДЛЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ «МАЛОЙ» МОЩНОСТИ

Северный энергорайон, который занимает 2/3 территории всей республики. Основными источниками являются дизельные электростанции, но, кроме этого есть солнечные электростанции и ветроэнергетические установки. Из-за большого количества ДЭС остро стоит проблема завоза топлива, и соответственно высока себестоимость электроэнергетики.

Все энергорайоны к настоящему времени не связаны между собой электрическими сетями. В перспективе следует учитывать также и связь Якутских электрических сетей с Магаданскими.

Сложная инфраструктура и транспортная схема завоза топлива; большая протяженность и загруженность линий электропередач, резко-континентальный климат с перепадами температур от -50°C до $+45^{\circ}\text{C}$ – все эти факторы негативно сказываются на качестве электроэнергии. Высока вероятность аварий из-за ненадежности работы электрических сетей.

Альтернативным решением проблемы электроснабжения без строительства мощных трансформаторных подстанций и использования дизельных генераторов является емкостной отбор мощности от линии электропередачи [1].

В районах Север-Востока РФ целесообразно выполнять отборы малых мощностей от линий электропередачи 110 – 220 кВ для электроснабжения небольших жилищных объектов, временных горно-геологических партий и баз, пунктов питания сотовой связи и др.

Для этой цели рекомендуется выполнять емкостные отборы мощности, причем емкости включать на напряжение 0,4 кВ к обмоткам низкого напряжения однофазных трансформаторов, обмотки высокого напряжения которых включать последовательно в цепь между фазными проводниками линии электропередачи и «землей».

Библиографический список

1. **Устройство** емкостного отбора мощности от линии электропередачи: пат. 2594890 Рос. Федерации: МПК Н02J 3/04 / Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С., Лесных Е.В., Рожина М.А.; заявители и патентообладатели: Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С., Лесных Е.В. – №2015110388/07; заявл. 23.03.2015; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23.

*Е.В. Уколова, асп., И.Н. Шушпанов, к.т.н., доц.;
рук. К.В. Суслов, к.т.н., проф.
(ИСЭМ СО РАН, ИРНИТУ, г. Иркутск)*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АКТИВНЫХ СЕТЕЙ

Одной из проблем российской электроэнергетики является высокий уровень аварийности и отказов на электроэнергетических объектах, а, как следствие, и высокий уровень экономических потерь. Причинами этого являются устаревшее оборудование и технически низкий уровень автоматизации управления технологическими процессами. Основная схема организации эксплуатации электрической сети ориентирована, прежде всего, на круглосуточное пребывание на них оперативного персонала, контролирующего состояние объекта и выполняющего оперативные переключения. Актуальной задачей в настоящее время является внедрение активных сетей [1]. Создание вышеназванной технологии предназначается для решения задач повышения надежности работы оборудования, возможности его контроля на расстоянии. В России идея SmartGrid в настоящее время выступает в качестве концепции интеллектуальной активно-адаптивной сети. Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью – это энергосистема нового поколения, основанная на мультиагентном принципе управления ее функционированием и развитием [2].



Рис. 1. Мультиагентная сеть

В настоящее время в российских распределительных сетях используется не весь спектр функций микропроцессорной техники. Создание интеллектуальных сетей в России приведет к системному подходу на всех уровнях.

Библиографический список

1. Глушенко П.В. Аспекты интеллектуализации автоматизированного диагностирования динамических сетевых объектов непрерывного типа электроэнергетики / Глушенко П.В. // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2014. – № 4.
2. Положение ОАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». – М.: ОАО «Россети», 2013.

*Е.В. Уколова, асп., Д.О. Герасимов, доц.,
В.В. Потапов, к.т.н.;
рук. К.В. Сулов, к.т.н., проф.
(ИСЭМ СО РАН, ИРНТУ, г. Иркутск)*

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Традиционные распределительные сети имеют некоторые недостатки, связанные с непрерывностью производства и потребления электроэнергии, то есть невозможностью хранения электроэнергии и отсутствием ценозависимого потребления, которое могло бы вносить существенный вклад в сглаживание графика потребления.

Переход к новым структурам в виде интегрированных интеллектуальных систем энергоснабжения позволит решить ряд проблем. Интеллектуальная система предполагает интеграцию самоорганизующихся систем электро-, тепло-, хладо-, газоснабжения, построенных по мультиагентному принципу на интеллектуальной основе [1, 2].

Новые концепции оцениваются и разрабатываются для эффективной интеграции и надежной работы нагрузок в децентрализованных энергетических системах. Для этого разрабатываются математические модели на основе энергетических хабов. В такой системе каждый объект энергоснабжения будет являться частью мульти-энергетической системы. Каждый канал осуществляет деятельность для обеспечения бесперебойного электроснабжения в соответствии с графиком нагрузки по наименьшей цене. Моделирование преобразования и передачи энергии можно выполнить в имитационной модели интегрированной системы выполненной в SimPowerSystem системы MatLab [3].

На основе данной модели можно построить разные алгоритмы автоматического управления интегрированной системой энергоснабжения, в зависимости от ее характеристик и составляющих элементов, а также целей потребителя.

Библиографический список

1. **Воропай Н.И.** Интегрированные энергетические системы как инновационное направление энергетики будущего / Н.И. Воропай, В.А. Стенников, Е.А. Бархатенко и др. // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. – Иркутск, 1 – 3 сентября 2015.
2. **Щербаков М.В.** Методика выявления потенциала энергосбережения на основе интеллектуального анализа данных / М.В. Щербаков, Т.А. Янковский, А. Бребельс, Н.Л. Щербакова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2011. – № 2. – С. 51 – 55.
3. **Герасимов Д.О.** Имитационное моделирование мультиэнергетических систем / Герасимов Д.О., Сулов К.В., Уколова Е.В. // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. – 2017. – С. 147 – 150.

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

О ВЫБОРЕ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В настоящее время светодиодные источники света плотно укрепились на светотехническом рынке и активно пользуются спросом. Однако, несмотря на большой спрос, до сих пор осталось много нерешенных вопросов при производстве и эксплуатации новых источников. Одним из таких вопросов является выбор оптических характеристик LED-светильников. Подбор лучших компонентов для удовлетворения предъявляемых требований оказался непростой задачей. Последнее связано с отсутствием или недостатком стандартов в новой технической сфере.

Вторичная светодиодная оптика подразделяется на линзы и отражатели. Линзы имеют разную форму и внешний вид: блочные, выпуклые, овальные, линзы для смешения цветовой гаммы, линзы для уличного освещения. Их главным отличием выступает характер диаграммы направленности, который определяет уровень интенсивности свечения источника [1, 2, 3].

В свою очередь этот критерий зависит и от состава материала, из которого изготавливаются линзы: полиметилметакрилат, поликарбонат, силикатное стекло. От материала также зависят такие характеристики как прочность, стойкость, пропускная способность. Оптическая эффективность линз определяется путем сопоставления выходного и входного светового потока, проходящего через заданные оптические поверхности.

Для миниатюрных светодиодов в качестве вторичной оптики лучше использовать линзы, в силу того, что лучом света проще управлять и есть возможность создания произвольных форм, за счет чего повышается уровень эффективности передачи света до 90 %. Отражатели следует применять в габаритных источниках света. Последнее объясняется удешевлением производства таких светильников без линз.

Многообразие линз для LED – светильников и их доступность позволяет реализовывать достаточно сложные светотехнические решения даже в условиях сложного подбора единого оптического решения.

Библиографический список

1. **Байнева И.И.**, Байнев В.В. Оптические системы для светодиодов // Фотоника. – 2016. – № 2. – С. 84 – 93.
2. **Сернов С.П.**, Балогонов Д.В., Колнтаева Т.В., Журавков А.А. Метод расчета вторичной оптики несменных источников света адаптивных оптических систем транспортных средств // Приборы и методы измерений. – 2014. – № 1. – С. 86 – 93.
3. **Белова Е.**, Юсупов С. Роль вторичной оптики в архитектурном освещении // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 17.

С.Х. Аль-Ашваль, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ЙЕМЕН

Актуальность темы определяется необходимостью обеспечения электроэнергией населения республики, проживающего в сельских, удалённых от городов, районах.

Анализ энергетической ситуации в республике показал, что национальная электроэнергетическая компания Йемена обеспечивает электроэнергией только 47 % населения республики, то есть больше половины населения электроэнергию не получает [1].

В республике существует также проблема дефицита электроэнергии и сокращения запасов традиционных энергоресурсов (нефть и газ).

Целью работы является оценка перспектив использования возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), использующих, в основном, энергию солнца.

Проведенными исследованиями установлено, что солнечная активность определяется географическим расположением республики, в так называемом районе земли, Sunbelt (солнечный ремень).

Выполнен анализ потенциала солнечной энергии (солнечной радиации) по различным районам республики для различных времен года. Продолжительность солнечного сияния в Йемене больше 3000 ч в год. Ежедневная солнечная радиация составляет, в среднем, 6 кВт·ч/кв. м, а среднегодовая достигает значения до 2200 кВт·ч/кв. м.

Установлено, что республика располагает значительными ресурсами солнечной энергии, использование которых на всей территории является целесообразным.

Использование ВИЭ позволит снизить дефицит электроэнергии, сэкономить затраты государства на субсидии производителям электроэнергии, которые составляют ежегодно более 300 миллионов долларов [1].

Результаты работы будут использованы при разработке вариантов схем солнечных электроустановок.

Библиографический список

1. **Национальный** информационный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.yemen-nic.info>.

Н.Е. Захаров, студ.;
рук. А.А. Шульпин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОСБЕРЕЖЕНИЮ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Электросбережение на энергетических объектах не имеет практического смысла, если работа по экономии электроэнергии не будет правильно организована. Комплексный подход к организации работы по электросбережению на энергетических объектах состоит из пяти направлений:

Установление значений среднего расхода электроэнергии (средних норм расхода электроэнергии) по отдельным видам оборудования, участкам и т. д.

Организация достоверного учета за электропотреблением, контроль за производительностью оборудования и соблюдением выполнения заданных технологических процессов, установленных планом.

Составление фактических и расчет нормализованных электробалансов и их анализ для определения величин и причин экономии или перерасхода электроэнергии по каждому виду оборудования, комплекту, участку, цеху, производству.

Организация оперативного контроля за выполнением установленных средних значений электропотребления любого вида оборудования. В процессе проведения оперативного контроля выясняются причины перерасхода электроэнергии по структурным подразделениям, устанавливается электрооборудование, имеющее энергопотребление выше установленного среднего значения электропотребления, и принимаются меры к их устранению. Оперативным контролем одновременно выявляется также электрооборудование, имеющее энергопотребление ниже среднего электропотребления.

Разработка мероприятий по экономии электроэнергии на следующий период времени. На основе показателей электропотребления, полученных в процессе проведения оперативного контроля, учитывая эффективность проведенных мероприятий, устанавливаются новые прогрессивные нормы расхода электроэнергии, снова осуществляется контроль за выполнением этих норм и т. д.

А.Е. Коробкова, студ.;
рук. А.А. Шульпин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Одним из способов энергосбережения и повышения энергоэффективности является решение проблемы компенсации реактивной мощности (КРМ).

КРМ позволяет: разгрузить линии, силовые трансформаторы и распределительные устройства; улучшить качество электроэнергии в электрической сети и увеличить срок службы электрооборудования; подключить дополнительную активную нагрузку без увеличения мощности силовых трансформаторов и без увеличения сечений линий питающей сети; уменьшить потери электроэнергии и снизить расходы на оплату электроэнергии.

В качестве компенсирующих устройств используются: батареи конденсаторов (БК), статические источники реактивной мощности, синхронные компенсаторы и синхронные двигатели. КРМ с помощью БК представляет собой особый интерес, поскольку этот способ является самым простым и дешевым.

Достоинствами БК являются: простота конструкции и эксплуатации, относительно невысокая стоимость, недефицитность применяемых материалов для их производства, малые собственные удельные потери активной мощности, простота производства монтажных работ (малая масса, отсутствие фундаментов), отсутствие вращающихся частей обеспечивает безопасность обслуживания, для установки конденсаторов может быть использовано любое сухое помещение. Однако БК имеют и ряд недостатков: зависимость генерируемой мощности БК от квадрата напряжения, отсутствие плавного автоматического регулирования отдаваемой в сеть реактивной мощности (применяется только ступенчатое регулирование), пожароопасность, наличие остаточного заряда, недостаточная прочность (особенно при КЗ и напряжениях выше номинального), чувствительность к искажениям питающего напряжения; малый срок службы.

Над устранением этих недостатков работают производители БК как в РФ, так и за рубежом.

Ю.А. Кузнецова, студ.;
рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ СЕТИ НА РЕЖИМ РАБОТЫ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Оптимальный режим работы дуговой сталеплавильной печи (ДСП) выбирается с помощью электрических и рабочих характеристик, построение которых целесообразно производить с учетом параметров системы внешнего электроснабжения (СВЭС).

В работе проведены исследования влияния сопротивления схемы СВЭС на значения оптимального тока $I_{опт}$, соответствующие максимальной производительности ДСП. Расчеты выполнены для четырех номинальных емкостей дуговых сталеплавильных печей: ДСП-50, ДСП-25, ДСП-12 и ДСП-5. Сопротивление внешней сети питания ДСП изменялось в пределах от $0,2 \cdot X_{вн\ сети}$ до $X_{вн\ сети}$.

По полученным данным для четырех печей различных емкостей построены зависимости изменения $I_{опт}$ от сопротивления СВЭС, приведенного ко вторичному напряжению печного трансформатора.

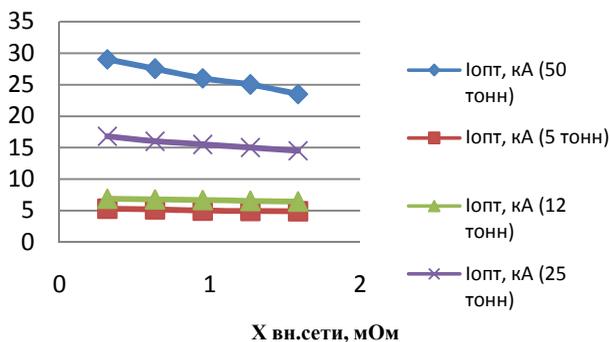


Рис. 1. Зависимости тока дуги оптимального режима работы $I_{опт}$ от сопротивления внешней сети $X_{вн\ сети}$

Получено, что оптимальный ток значительно уменьшается с ростом сопротивления сети для всех исследуемых ДСП.

Библиографический список

1. **Электротехнологические** промышленные установки / Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РАБОТЕ ДСП, НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) являются основными электрометаллургическими агрегатами для выплавки черных металлов (стали и чугуна). Технологический процесс определяет такую особенность как несинусоидальность токов и напряжений. Она вызвана нелинейностью электрической дуги как приемника электроэнергии.

Нелинейный характер нагрузки ДСП оказывает влияние и на показатели качества электроэнергии питающей сети.[1]

В качестве исходной была взята схема электроснабжения промышленного предприятия «КРАНЭКС Иваново». Сотрудниками завода была выдана информация по оборудованию, установленному на предприятии, схеме подключения ДСП и ТКЗ на шинах ВН ДСП.

Расчет максимальных значений уровней отдельных гармоник тока при работе дуговых печей, фазного напряжения гармоники в расчетной точке питающей сети и общий коэффициент несинусоидальности в расчетной точке при работе дуговых сталеплавильных печей проведен для 3, 5 и 7 гармоник.

Максимальное значение коэффициента несинусоидальности в расчетной схеме составляет 1,697 % и наблюдается в режиме минимальных нагрузок при пятом положении указателя трансформатора (седьмая гармоника).

Согласно [2] допустимый коэффициент несинусоидальности для напряжения 6 – 20 кВ составляет 5 %. Так как расчетный коэффициент не превышает допустимый, установка фильтрующих устройств на шины 6 кВ не требуется.

Библиографический список

1. **Миронов Ю.М.,** Миронова А.Н. Электрооборудование и электроснабжение электротермических, плазменных и лучевых установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 375 с.
2. **ГОСТ 13109-97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

К.А. Тихомирова, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКА МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПИТАЮЩИХ ЦЕНТРОВ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В системах электроснабжения городов, для которых актуальна проблема энергодифицита, появляются установки распределенной генерации (РГ), которые оказывают влияние на распределительные сети [1 – 2].

Подключение источников РГ к распределительным сетям увеличивает токи коротких замыканий, что может потребовать замены коммутационных аппаратов [2].

Объектом исследования является схема электроснабжения нового микрорайона города Московской области.

Источниками питания района являются существующая подстанция энергосистемы и новая мини ТЭЦ с установленной мощностью 10500 кВт и шестью генераторами типа NU 824E фирмы Cummins (Великобритания).

Целью работы является оценка влияния источника малой генерации на токи короткого замыкания существующей подстанции в режиме параллельной работы мини ТЭЦ с сетью 10 кВ с целью проверки основного электрооборудования подстанции по термической и динамической стойкости.

Проведены исследования режимов сети при работе мини ТЭЦ с разным количеством генераторов и разной их загрузкой. В работе использованы методы имитационного моделирования с использованием программного комплекса «ENERGYTKZ».

Результаты работы могут быть использованы при разработке схем электроснабжения города с источником малой генерации при их развитии и реконструкции.

Библиографический список

1. **Онлайн** платформа Академия «Распределенная генерация». Направления развития // Энергоэксперт. – 2016. – № 3.
2. **Воропай Н.И.** Распределенная генерация в электроэнергетических системах. Материалы научно-практической конференции «Малая энергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.combienergy.ru.

Альсабахи Амин Салех, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Перспективная оценка электропотребления промышленного предприятия является актуальной задачей для планирования объемов закупки электроэнергии.

В условиях рыночной экономики себестоимость продукции будет определять его конкурентоспособность.

Целью работы является создание модели прогнозирования конкретного промышленного предприятия.

Для решения задачи исследованы статистические методы, применяемые на промышленных предприятиях и выбран метод регрессионного анализа [1 – 2].

В качестве исходных данных использованы объемы потребления электроэнергии предприятия за четыре года (суточные и месячные).

Для построения модели принята программа Mathcad. Для импорта данных использована функция *READFILE*, для расчета коэффициентов линейного тренда использована функция *Line*. Коэффициенты сезонной составляющей рассчитаны решением оптимизационной задачи (целевая функция – суммарный минимум модулей отклонений эмпирических и модельных данных), использованы функции минимальной ошибки *Minerr* и поиска минимума *Minimize*.

Созданы прогнозные модели суточного и месячного электропотребления промышленного предприятия.

Точность прогнозирования месячного электропотребления составила 3,18 %.

Результаты работы планируется использовать для прогноза электропотребления на промышленном предприятии ОАО «СКЗ» (г. Северозадонск, Тульская обл.).

Библиографический список

1. **Бэни Д.В.**, Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. 1987. – 568 с.
2. **Суднова В.В.**, Якимов А.Е. Повышение качества планирования электропотребления на основе статистического анализа // Электричество. – 1992. – № 5. – С. 12 – 16.

*Х.М. Факиа, студ.;
рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН

Актуальность темы определяется необходимостью развития энергосистемы республики Йемен и разработки новых методов производства электроэнергии, в частности ветроэнергетики, для обеспечения растущего спроса на электроэнергию.

Следует учитывать, что энергетический кризис в стране и неизбежное истощение ископаемых топливно-энергетических ресурсов в обозримом будущем может создать дополнительные предпосылки для возникновения локальных вооруженных конфликтов за контроль над нефтяными и газовыми ресурсами и топливными магистралями, вследствие неравномерного распределения и доступа к этим ресурсам различных стран и организаций [2].

Таким образом, можно утверждать, что в настоящее время Республика Йемен должна быть наиболее заинтересована в разработке и применении безопасных и эффективных источников электрической энергии, в частности энергии ветра.

Целью работы является оценка перспектив использования возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), использующих, в основном, энергию ветра.

Республика Йемен обладает огромным ветроэнергетическим потенциалом на Красном море и побережье Тихого океана республики, и реализация этих ресурсов для развития ветроэнергетики будет очень перспективной для республики Йемен [1].

Следует отметить, что эксплуатация ВЭУ позволяет сэкономить как финансовые средства, так и топливные для дизельных электростанций.

Результаты работы будут использованы при разработке разных вариантов схем ветровых электростанций.

Библиографический список

1. **База** данных погоды Республики Йемен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mojoyemen.ru/klimat-yemen>.
2. **Национальный** информационный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yemen-nic.info>.

СЕКЦИЯ 15

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

Секретарь – к.т.н., старший
преподаватель **Филатова Г.А.**

*Е.А. Аграфенин, студ.;
рук. В.А. Шахнин, д.т.н., проф.
(ВлГУ, г. Владимир)*

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Особенностью современных электронных расцепителей, является их способность взаимодействия с устройствами управления путем применения специальных систем по коммуникационным протоколам, такими как ПК, ПЛК или системы SCADA. Это позволяет расширить возможности автоматических выключателей, к основным функциям коммутации и защиты которых, добавляется возможность наблюдения за состоянием как оборудования, так и электроустановок в целом. В качестве примера рассмотрим систему управления электростанцией на модульных автоматических выключателях. В таком случае в каждом распределительном щите присутствует главный автоматический выключатель АВВЕmax с расцепителем PR122/P-PR123/P. В его памяти хранятся два типа уставок, первый – для работы в нормальном режиме от сети, второй – аварийный с работой от генератора, переключения между ними происходит мгновенно. Расцепители оборудованы коммутационным протоколом Modbus и подключены к системе диспетчерского управления, взаимодействующей с выключателями по сети. Система фиксирует и отображает информацию трех типов: аварийные сообщения о срабатывании защиты от перегрузки; данные, сопутствующие срабатыванию защит (значения отключенных токов, осциллограммы, записанные расцепителями в свой журнал); данные о сроке службы автоматического выключателя (кол-во коммутаций, процент износа силовых контактов). Это позволяет контролировать состояние оборудования в реальном времени, а также осуществляет статистический и диагностический анализ, предупреждающий возникновение аварийных ситуаций в дальнейшем.

Библиографический список

1. **Применение** автоматических выключателей АБВ в цифровых системах автоматизации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://amk-electro.ru/media/medialibrary/2016/02/abb-004-008.pdf>. (Дата обращения: 20.11.2017).

Л.Л. Алексеев, асп.;
рук. В.Ю. Вуколов, к.т.н., доц.
(НГИЭУ, г. Княгино)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПРИСОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6 – 35 КВ

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются наиболее трудно диагностируемым видом повреждения ВЛ и составляют около 80 % от общего числа повреждений. Протяженность распределительных сетей 6 – 35 кВ в энергосистеме РФ свидетельствуют о необходимости разработки универсального подхода к определению поврежденного присоединения при ОЗЗ на основе анализа осциллограмм аварийных событий.

В работе проведён анализ существующих способов заземления нейтрали в сетях 6 – 35 кВ. Рассмотрены наиболее часто встречающиеся способы определения поврежденного присоединения при ОЗЗ, определены их достоинства и недостатки. Произведено моделирование ОЗЗ в программном комплексе PSCAD для каждого из отходящих фидеров разветвленной распределительной сети предприятия. Установлено, что при ОЗЗ на любом присоединении наблюдается увеличение напряжения на неповрежденных фазах до линейного. Напряжение поврежденной фазы снижается практически до нуля (будет равно падению напряжения от ЦП до места повреждения). Сам поврежденный фидер возможно определить по фиксации в поврежденной фазе в любом присоединении максимального ударного тока переходного режима, имеющего однократный самоустраняющийся характер, что связано с пробоем изоляции. В дальнейшем устанавливается ток ОЗЗ промышленной частоты.

Определение поврежденного фидера при ОЗЗ в фазе В затруднено ввиду отсутствия для большинства эксплуатируемых сетей трансформаторов тока (ТТ) на этой фазе. В то же время, в ячейках 6 – 35 кВ распределительных устройств при новом строительстве или реконструкции, как правило, устанавливают три ТТ. Поэтому предложенная концепция является весьма перспективной.

Библиографический список

1. **Вуколов В.Ю.** Повышение эффективности передачи электроэнергии в распределительных сетях. Часть 1. / В.Ю. Вуколов, А.Л. Куликов, Б.В. Папков. – М.: НТФ «Энергопрогресс», Библиотечка электротехника, 2013. – № 11. – 72 с.

*Б. Буянбаатар, магистр,
Б.М. Гиёев, асп.;*
*рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ САОН ПО ДАННЫМ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МОНГОЛИИ

Для предотвращения недопустимых снижения частоты при внезапном нарушении баланса активной мощности в отдельной части энергосистемы предусмотрена специальная автоматика отключения нагрузки (САОН).

Объем этой разгрузки динамически переназначается в автоматическом режиме по данным телеизмерений мощности в нескольких точках энергосистемы по алгоритму автоматической дозировки воздействия (АДВ). Пуск на действие САОН осуществляется по логическому сигналу об устойчивом отключении элементов энергосистемы. Значительный дефицит и последующие переключение нагрузки вызывают интенсивный электромеханический переходный процесс, параметры которого могут принимать недопустимые значения.

В докладе приводятся данные машинных экспериментов полученные на PSCAD-моделе с использованием параметров схемы по данным энергосистемы Монголии.

Экспериментально определена допустимая задержка в реализации команды САОН, а также допустимое отклонение в реализации объема разгрузки относительно задание АДВ. Возмущение создавалось путем отключения воздушной линии со стороны подстанции Селендума в объеме 50 МВт. Действие САОН оценено на уровне 110 и 10 кВ.

Было выявлено, что в условиях Монголии из-за малой плотности нагрузки действие САОН на уровне 10 кВ и выше приводит к нежелательному отключению нагрузки некоторых социально значимых объектов и более ответственных удаленных потребителей.

Таким образом, целесообразно применение способа ограничения нагрузки по командам САОН и АЧР на уровне 0,4 кВ с целью селективного отключения часть нагрузки, как предложен на [2]. Такой подход дает возможность даже при аварийных дефицитах мощности сохранить работы наиболее важных потребителей.

Библиографический список

1. **Глускин И.З.**, Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Т. 1. – М., 2009. – 286 с.
2. **Арцишевский Я.Л.**, Гиёев Б.М. Эффективность автоматической частотной разгрузки с передачей команд на отключение электроприемников 0,4 кВ // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2017. – Т. 60. – № 6. – С. 37 – 44.

*А.А. Ворошилов,
рук. М.В. Шарыгин, к.т.н., доц.,
А.Л. Куликов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

АВТОМАТИКА ОТКЛЮЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

На сегодняшний день проблема сокращения потерь электроэнергии является актуальной. В соответствии с [1] планируется в период с 2017 – 2026 годов сократить потери электроэнергии в электросети до нормативных значений. Один из способов сокращения потерь – снижение потерь холостого хода в трансформаторах на ПС, возникающих в результате низкой загрузки трансформаторов.

Опыт решения данной проблемы ограничивается осуществлением переключений (перевода всей нагрузки на оставшийся в работе трансформатор) вручную оперативным персоналом [2, 3]. Так же имеющиеся в нормативной и специальной литературе расчетные выражения исходят либо из режима параллельной работы трансформаторов с одинаковыми параметрами, либо учитывают отличия параметров, но считают все трансформаторы работающими с одинаковыми коэффициентами загрузки. Оба эти варианта приводят к недопустимо большим погрешностям.

Очевидно, что максимально эффективно управлять трансформаторами ПС можно лишь с помощью автоматических устройств. Поэтому требуется создать алгоритм оптимального, полностью автоматического отключения трансформаторов в трансформаторной группе ПС при произвольном графике нагрузки. К автоматике предъявляется ряд требований. Автоматика должна:

- основываться на современных интеллектуальных электронных устройствах и системах связи между ними;
- учитывать мощность трансформаторов и их нагрузку;
- контролировать тренд графика нагрузки;
- учитывать коммутационный ресурс оборудования
- учитывать возможные блокировки.

Библиографический список

1. **Программа** модернизации электросетевого комплекса ПАО Россети. Утверждено Советом директоров ПАО «Россети» 17.04.2017.
2. **Воротницкий В.Э.**, Железко Ю.С., Максимов В.М. РД 34.09.254. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. Главное научно-техническое управление энергетики и электрификации, 1986.
3. **Железко Ю.С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.

Б.М. Гиёев, асп.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ В СЕТИ ПРИ ВЫБОРЕ УСТАВОК ПО ВРЕМЕНИ В КАНАЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОМАНД АЧР

В [1, 2] рассмотрены вопросы реализации отключения нагрузки по командам АЧР на уровне 0,4 кВ. Предложен способ передачи команды и ее реализации путем кратковременного прерывания рабочего напряжения в цикле О-В силового выключателя. При этом длительность этой команды необходимо отстроить от провалов, возникающих в сети при действии устройств РЗА. С этой целью была разработана математическая модель в среде PSCAD по схеме, представленной на рис. 1.

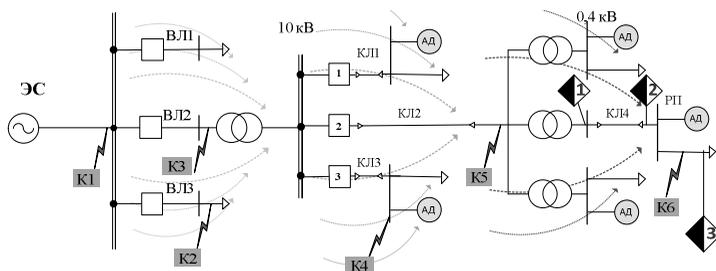


Рис. 1. Однолинейная схема электроснабжения

Результаты моделирования КЗ в разных точках сети К1-К6 показали, что глубины провалов напряжения на шинах 0,4 кВ (контрольные точки 1, 2, 3) в результате КЗ в сетях высокого и среднего напряжения составляют $\square U_n = 30\%$, кроме точек К3 и К5, которые приводят к полному отключению питания. На длительность и глубины провалов влияют время работы устройств защиты и состав двигательной нагрузки [2]. Как правило, на линиях 10 кВ (если ВЛ) для обеспечения устойчивости АПВ вводятся выдержки времени более 2 с. При этом с учетом полной времени включения выключателя длительность возникшего прерывания питания увеличивается относительно рассматриваемой длительности, которой принята равной 2 секунды, используемой в качестве команды.

Библиографический список

1. Гиёев Б.М., Арцишевский Я.Л. Адаптация АЧР к переменному уровню ответственности электроприемников 0,4 кВ // Энергетик. – 2017. – № 8. – С. 18 – 21.
2. Кудрин Б.И., Цырук С.А. Техноэкономические основания науки об электрическом хозяйстве потребителей электротехнической продукции и электрической энергии и мощности. «Ценологические исследования». – М.: Технетика, 2015. – 293 с.

Б. Дашдаваа, студ.;
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОДНОФАЗНОГО АПВ НА ВЛ 220 КВ В МОНГОЛИИ

В настоящее время в ЭС Монголии на ВЛ 220 кВ связи между ТЭЦ-4 и ТЭЦ «Эрдэнэт» установлен комплект РЗА с трехфазным АПВ. Электропотребление ТЭЦ «Эрдэнэт» составляет 80 Мвт, а мощность ТЭЦ 3х12 МВт. Длина ВЛ около 200 км и на ней ежегодно происходят 2 – 3 коротких замыкания.

Известно [1], что интенсивность электромеханического переходного процесса при однофазном АПВ (ОАПВ) уменьшается по сравнению с трехфазным АПВ (ТАПВ).

В докладе проводятся количественные данные по результатам моделирования в среде PSCAD, которые демонстрируют эффективность ОАПВ на рассматриваемой ВЛ, обусловленную уменьшением объема действий автоматики предотвращения нарушений устойчивости специальной автоматики отключения нагрузки (САОН).

Библиографический список

1. **Глускин И.З.**, Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Т. 1.

А.А. Колесников, В.Ю. Вуколов, к.т.н., доц.;
рук. А.Л. Куликов, д.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЗАЩИТАХ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СРАБАТЫВАНИЙ ПРИ НАСЫЩЕНИЯХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Электромагнитные трансформаторы тока (ТТ) являются наиболее распространённым видом измерительных преобразователей тока для устройств релейной защиты (РЗ). Точная работа ТТ, используемых для РЗ, необходима для правильного функционирования защит. Одним из недостатков электромагнитных ТТ является наличие эффекта насыщения магнитопровода, влияющего на точность измерений [1].

Цель исследования – разработать специальный алгоритм, позволяющий свести к минимуму влияние насыщения ТТ в переходных режимах короткого замыкания (КЗ) на РЗ.

Предлагаемый метод может быть применен в централизованных дифференциальных защитах, в частности, основанных на методе двойной записи [2]. Структура всей схемы электрической сети представляется однонаправленным графом с вершинами, представляющими высоковольтные аппараты и ребрами, представляющими защищаемые элементы. Граф, в свою очередь описывается матрицами токов.

Записывая значение каждого тока (веса дуги) для разных матриц в соответствии с принципом двойной записи, можно получить различные значения тока, как связанные с измерениями, так и вычисленные путем выполнения матричных операций. Таким образом, благодаря наличию информационной избыточности и сопоставлению значений тока, исключаются грубые ошибки измерений ТТ.

Библиографический список

1. **Шабал М.А.** Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 1998. – 64 с.
2. **Куликов А.Л.,** Вуколов В.Ю., Колесников А.А. Централизованная дифференциальная защита распределительных сельских сетей 6 – 35 кВ с применением метода двойной записи // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 2 (69). С. 71 – 81.

*П.А. Колобанов
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПУТЕМ УЧЕТА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ

Дистанционная защита широко применяется в сетях различного класса напряжения, поскольку она обладает относительно стабильной зоной охвата при различных видах КЗ и конфигурациях сети

Максимально возможная чувствительность ДЗ при дальнем резервировании определяется отстройкой от нагрузки. Однако применяемые в настоящее время алгоритмы защиты были сформированы с учетом электромеханической элементной базы.

В докладе рассматриваются алгоритмы повышения чувствительности ДЗ при дальнем резервировании при несимметричных коротких замыканиях за счет оптимального использования возможностей микропроцессорной элементной базы.

Библиографический список

1. **Циглер Г.** Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. Пер. с англ. Под ред. Дьякова А.Ф. – М.: Энергоиздат, 2005. – 322 с.

2. **Шнеерсон Э.М.** Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
3. **Руководящие** указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35 – 330 кВ. – М.: Энергия, 1966.
4. **Рекомендации** по расчету уставок резервных защит линий электропередачи напряжением 110 – 220 кВ на базе шкафов серии ШГЭ2607. – Чебоксары.: ООО «НПП ЭКРА», 2012.

М.Л. Корякина, асп.;
рук. Ю.Ф. Королюк, к.т.н., проф.
(СВФУ, г. Якутск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ РАЗНЫХ АЛГОРИТМАХ ОБРАБОТКИ ВЫБОРА ТОКОВ

Принципы построения и алгоритмы, используемые в цифровой релейной защите (ЦРЗ), во многом отличаются от применяемых в электро-механических и электронных релейных защитах из-за отличия технической основы и способов обработки информации [3].

При построении алгоритмов релейной защиты, автоматики и определения места замыкания на ВЛ нередко отождествляют синусоидальную принужденную составляющую переходного тока КЗ с первой гармоникой этого тока, получаемой посредством разложения измеренных мгновенных значений тока в ряд Фурье [2]. Приведено определение погрешностей при разных алгоритмах обработки выбора токов и пути исключения или значительного уменьшения указанных погрешностей, вызываемых апериодической составляющей тока.

В данной статье рассмотрены два метода разложения в ряд Фурье апериодической составляющей: интегральный и практический (графоаналитический).

Из курса математики известно, что любую периодическую функцию $f(x)$ с периодом T , удовлетворяющую условиям Дирихле, можно разложить в ряд Фурье.

Практический (графоаналитический) метод определения гармоник ряда Фурье основан на замене определенного интеграла суммой конечного числа слагаемых. С этой целью период T функции $f(x)$, разбивают на n равных частей $\Delta x = T/n$ и интегралы заменяют суммами для расчета коэффициентов гармоник [1].

Данный метод оказался более подходящим для нашего анализа и трудоемким, так как исследуемая функция несимметричная, а относится ко второму типу, а именно является кривой произвольной формы.

Библиографический список

1. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. шк., 1996. – 638 с.

2. **Дмитриев К.С.** Оценка влияния аperiodической составляющей на параметры первой гармоники принужденной составляющей тока КЗ, определяемые разложением в ряд Фурье // Электричество. – 2005. – С. 9 – 14.

3. **Шнеерсон Э.М.** Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

Г.В. Майстренко, асп.;
рук. М.Д. Обалин, к.т.н., инж.
(НГТУ, г. Нижний Новгород)

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ «ПОИСКА В ГЛУБИНУ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОМП ЛЭП

Один из основных факторов, снижающих надёжность электроснабжения потребителей – повреждения линий электропередач. Для того, чтобы снизить время на обнаружение повреждения, используются специализированные устройства ОМП ЛЭП. Наиболее распространены устройства ОМП ЛЭП, работающие по параметрам аварийного режима [1]. ЛЭП могут иметь разветвлённую конфигурацию, что может затруднять локализацию места повреждения.

Точную координату повреждения установить не всегда возможно. Задача ОМП сводится к выбору поврежденного участка сети. Её можно решить, используя методы теории графов, а конкретно – алгоритм поиска в глубину. Общий вид алгоритма представлен на рисунке 1.

Предложенный алгоритм позволяет осуществлять более точное ОМП линий электропередачи с отпайками благодаря использованию теории графов и имитационного моделирования.

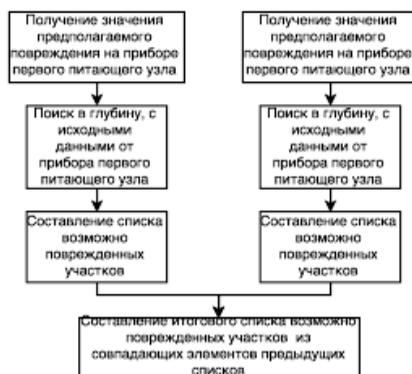


Рис. 1. Алгоритм ОМП по результатам измерений на питающих узлах разветвлённой линии с применением теории графов

Авторами была произведена проверка предложенного алгоритма на модели ЛЭП 220 кВ с тремя ответвлениями (реализована в MatLAB/Simulink). Традиционный метод не позволял точно определить участок повреждения, алгоритм с применением теории графов точно локализует участок повреждения и, тем самым, дает возможность сократить время поиска повреждения.

Библиографический список

1. **Аржанников Е.А.** Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов; под ред. В.А. Шуина. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.

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

МЕТОД ВОЛНОВОЙ РЗА, КОМБИНИРОВАНИЕ С ТРАДИЦИОННЫМИ ЗАЩИТАМИ

Возникают ситуации, когда стандартные методы РЗА неэффективны. Например, существует ряд проблем при реализации защит в сетях «microgrid» с распределенными возобновляемыми источниками энергии, когда из-за нестабильности их работы постоянно меняется режим сети. Меняются токи рабочего режима, токи КЗ и т.д. В таких ситуациях необходимо развивать новые алгоритмы работы РЗА. Во многих работах предлагается разработка так называемых адаптивных или «безуставочных» защит [1].

Однако другим подходом является использование защит, принцип действия которых не зависит или слабо зависит от режима сети. К таким защитам можно отнести особый вид защит – волновые защиты. Это защиты, принцип действия которых основан на оценке протекания волновых процессов при повреждениях в сети [2].

Предлагается метод, основанный на распознавании высокочастотных волновых составляющих тока и (или) напряжения (волновых портретов). Распознавание осуществляется с применением техники корреляционного анализа. В предлагаемом алгоритме будут определяться значения кросскорреляции измеряемого сигнала с набором «эталонных» сигналов, полученных ранее с помощью ЭВМ. На основе наибольшей величины корреляции выбирается наиболее похожий портрет, соответствующий определенному поврежденному участку и месту повреждения. Разрабатываемый метод был предложен для решения задачи АПВ смешанных линий и проверен путем моделирования в программных комплексах PSCAD и Mathcad [2].

На основе комбинирования волнового метода с традиционными видами защит, например с дистанционным пусковым органом возможно разработать защиты одностороннего принципа действия, зона защиты которых будет покрывать 99 % длины ЛЭП.

Библиографический список

1. **Smart** Grid Technologies for Autonomous Operation and Control / A.P. SakisMeliopoulos, ets. – IEEE Transactions on Smart Grid. – 2011. – Vol. 2. – No. 1. – P. 1 – 10.
2. **Recognizing** of Traveling Wave Patterns on Digital Substations for Automatic Reclosing of High-Voltage Overhead-Cable Power Lines Transmissions / A. Kulikov, A. Loskutov, A. Loskutov, P. Pelevin. – IJAER. – 2017. – Vol. 12. – Num. 21. – Pp. 11118 – 11123.

*Д.Л. Родригез, студ.;
рук. Т.Г. Климова, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

При производстве систем возбуждения и автоматических регуляторов возбуждения производители ориентируются на международный стандарт IEEEStd 421,5TM-2005 [1]. При выборе типов автоматических регуляторов возбуждения для установки на конкретных объектах в некоторых странах ориентируются на свои Стандарты (в Российской Федерации на Стандарт СТО 59012820.29.160.20.001-2012 [2], требующий дополнительных сертификационных испытаний). У некоторых стран таких Стандартов нет (например, в Эквадоре) и при выборе определенной системы ориентируются на рекомендации производителей.

В этом исследовании проводится сравнительный анализ различных типов систем возбуждения автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов, используемых на некоторых гидроэлектростанциях Эквадора, таких как: регулятор BASLER – EXBAS и модель IEEEEST5B – Unitrol 1000 ABB [3].

Анализируя качество демпфирования переходных процессов при различных возмущениях, сопоставляются возможности систем возбуждения (регулятор BASLER – EXBAS и модель IEEEEST5B – Unitrol 1000 ABB) при использовании их в одной схеме для поддержания уровней напряжения на клеммах генератора.

В докладе показано, что модель BASLER – EXBAS и стабилизатор PSS2B обеспечивают лучшее демпфирование и время переходного процесса (не превосходящее 15 с) при тестовых сигналах Стандарта [2].

Следовательно, целесообразно проводить сертификационные испытания, оптимизирующие выбор АРВ для установки на конкретных станциях.

Библиографический список

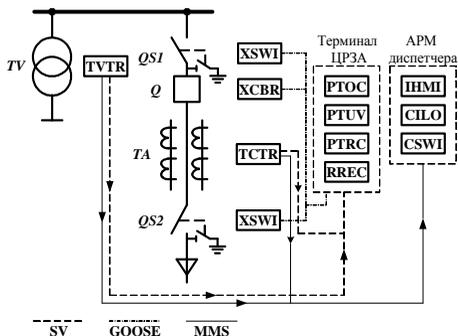
1. **IEEE** ecommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies // IEEEStd 421.5-2005 (Revision of IEEE Std 421.5- 1992), 2006.
2. Стандарт, требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения **сильного** действия синхронных генераторов. СТО 59012820.29.160.20.001-2012. (утверждены приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277).
3. **Д. а. СРЕВ**, "Estudio de la Ampliación del Sistema Eléctrico de Alimentación al Campo Petrolífero Atacapi - Parahuacu" – Vol. Documento No.02E0013S02, ABB, Ed., 1 ed: PETROPRODUCCION. – 2003. – P. 51.

Т.Р. Шарафеев, асп.;
рук. А.Л. Куликов, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРНАПАДЕНИЙ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАТОРА БАЙЕСА

Предлагаемый метод основывается на определении возможности вмешательства в цифровую систему управления и защиты (ЦСУЗ) кабельной линии электропередач (кЛЭП) 6 – 35 кВ при помощи классификатора Байеса.

Модель ЦСУЗ линии представлена на рисунке 1. Коммутационным аппаратам ($QS1$, $QS2$, Q), устройствам измерения (TV , TA), управления (АРМ диспетчера), защиты и автоматики (Терминал ЦРЗА) ставятся в соответствие в упрощенном варианте логические узлы [1], связь между которыми формируется в стандарте МЭК 61850.



Для выявления киберугроз в отношении присоединения КЛЭП предлагается использовать классификатор Байеса [2]. Гипотезой S является «кибернападение», вероятность которого определяется набором событий $W_1, W_2 \dots W_n$. Эти события есть атрибуты логических узлов рассматриваемой ЦСУЗ. Расчета вероятности кибернападения при наличии произвольного набора событий производится по выражению:

$$p(S|W_1, W_2 \dots W_n) = \frac{\prod_i p(S|W_i)}{\prod_i p(S|W_i) + \left(\frac{p(-S)}{p(S)}\right)^{1-N} \cdot \prod_i p(-S|W_i)}$$

Достоинствами предлагаемого метода является простота реализации и малая вычислительная сложность.

Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 61850-7-4-2011. Совместимые классы логических узлов и классы данных.
2. Папков Б.В., Куликов А.Л., Осокин В.Л. Киберугрозы и кибератаки в электроэнергетике: учебное пособие. – Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2017. – 80 с.

А.А. Юдина, студ.;
рук. Е.М. Шишков, к.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)

ПРОБЛЕМА ЗАМКНУТОГО АЛГЕБРАИЧЕСКОГО КОНТУРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ УШР

На данный момент среда Matlab Simulink широко применяется для имитационного моделирования процессов. С помощью графических блок-программ строятся динамические модели, а также дискретные, нелинейные, непрерывные системы.

Модель управляемого шунтирующего реактора (УШР) в среде Simulink состоит из магнитной и электрической цепи. В электрической части происходит измерение напряжения на индуктивном элементе, происходит интеграция в блоке интегрирования, после чего значение потосцепления делится на число витков в блоке усиления. Производится анализ сигнала на выходе из блока усиления с помощью управляемого источника тока. Формируется магнитный поток, протекающий в магнитной цепи, который измеряется на измерительном элементе, после чего интегрируется в блоке интегрирования и делится на число витков, затем происходит расчет магнитной цепи к электрической. Сигнал на выходе действует на источник тока, который подает ток на катушку индуктивности [1]. Структурная схема модели электротехнического блока связи электромагнитной цепи в среде Simulink представлена на рис. 1.

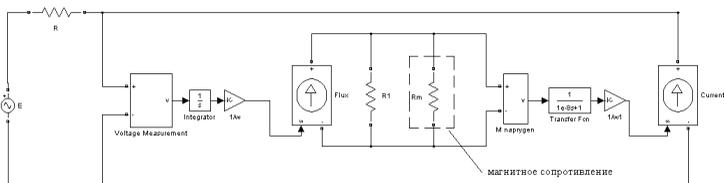


Рис. 1. Структурная схема модели электротехнического блока

Недостаток модели – наличие замкнутого алгебраического контура, образованного источником тока и блоком измерения магнитного напряжения. Расчет алгебраических контуров проводится итерационным методом на каждом шаге расчета, замедляя общее время расчета. Для исключения контура добавлен фильтр с малой постоянной времени. Значение постоянной времени подбирается вручную.

Библиографический список

1. Долгополов А.Г. Повышение эффективности УШР на ЛЭП 500 кВ и ПС 110 кВ электроэнергетической системы. – Москва. – 164 с.

Е.А. Воробьева, асп.;
рук. В.А. Шуин, д.т.н., проф.,
Т.Ю. Шадрикова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДМИТАНСНЫХ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6 – 10 кВ

Во многих европейских странах, в отличие от России, в кабельных сетях среднего напряжения широкое применение получили направленные и ненаправленные адмитансные защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), основанные на измерении проводимости нулевой последовательности защищаемого присоединения в установившемся режиме ОЗЗ:

$$Y_0 = 3I_0 / U_0 = G_0 + jB_0 \quad (1)$$

и сравнении значения полной проводимости $Y_0 = |Y_0|$ или ее реактивной B_0 составляющей с уставкой срабатывания, выбираемой из условия отстройки от внешних ОЗЗ на землю. В переходных режимах при дуговых ОЗЗ, в токах $3i_0$ поврежденного и неповрежденных присоединений преобладают свободные составляющие с частотами до нескольких десятков

килогерц, что приводит к увеличению замера адмитансной защиты и возможности ее излишних срабатываний при внешних ОЗЗ.

В кабельных сетях 6 – 10 кВ для мгновенных значений токов $3i_0$ поврежденного и неповрежденных присоединений в установившемся и переходных режимах ОЗЗ для составляющих с частотами $f \leq 1,5\text{--}2$ кГц справедливы следующие соотношения

$$3i_{0\text{ неп}} = 3C_{0\text{ собс}} du_0 / dt ; \quad (2)$$

$$3i_{0\text{ пов}} = -3(C_{0\Sigma} - C_{0\text{ собс}}) du_0 / dt , \quad (3)$$

где $C_{0\Sigma}$ и $C_{0\text{ собс}}$ – соответственно суммарная емкость сети и собственная емкость фазы на землю защищаемого присоединения.

Из (2) и (3) для отношения среднеквадратичных значений величин $3i_0(t)$ и $u'_0(t)$ можно получить:

$$C_{0\text{ неп}} = 3I_{0\text{ неп}} / U'_0 = 3C_{0\text{ собс}} , \quad (4)$$

$$C_{0\text{ пов}} = 3I_{0\text{ пов}} / U'_0 = 3(C_{0\Sigma} - C_{0\text{ собс}}) . \quad (5)$$

При использовании для выполнения адмитансной защиты соотношений (4) и (5) значение воздействующей величины $C_0 = 3I_0 / U'_0$ определяется только величиной емкостей фаз на землю защищаемого присоединения $C_{0\text{ собс}}$ и внешней сети $(C_{0\Sigma} - C_{0\text{ собс}})$, не зависящих от частоты, что позволяет обеспечить стабильность замера и высокую устойчивость функционирования как в установившихся, так и в переходных режимах ОЗЗ.

А.С. Воропаев, студ.;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.,
Л.М. Колесов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Дистанционная защита – это универсальная защита от коротких замыканий. Она является основной защитой в магистральных и распределительных сетях, поэтому так важна ее интеграция в мультифункциональную систему.

Под мультифункциональной системой подразумевается взаимосвязь между цифровыми трансформаторами тока и напряжения (ЦТТН), РЗА и силовым оборудованием.

Данная система предполагает, что сигналы от ЦТГН, минуя шины, попадает непосредственно в блок РЗА, от которого в схему управления выключателем. Таким образом, уменьшается время передачи сигнала на отключение выключателя и разгружаются потоки информации в шинах передачи данных.

Рассмотрены и проанализированы способы установки блока РЗА на подстанции, разработан алгоритм организации ДЗ, начиная с измерений тока и напряжения от ЦТГН и заканчивая подачей сигнала на отключение выключателя.

Данные наработки используются в исследовании, выполненные при финансовой поддержке Министерства образования и науки 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).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИИМИДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ТОКА

В наше время при проектировании новых моделей электромагнитного трансформатора тока, несмотря на его достаточную изученность, возникают актуальные проблемы, требующие соответствующих конструктивных решений.

Одной из таких проблем является возможный пробой зазора между токоведущей частью и вторичной обмоткой трансформатора тока. Для решения этой проблемы нами предложено применение экранов из проводящего материала с «плавающим» потенциалом. Суть способа состоит в том, что вокруг токоведущей части (которая предварительно изолирована несколькими слоями полимерной плёнки) оборачивается медная фольга, которая перераспределяет электрическое поле и снижает риск пробоя.

Основной целью данной работы является проверка целесообразности применения данного метода защиты от пробоя изолирующего

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

- 1) Замерить основные геометрические параметры ключевых компонентов исследуемого трансформатора тока;
- 2) В программном комплексе COMSOL MultiPhysics создать упрощенную модель устройства и исследовать картину электрического поля при применении различных видов изоляции;
- 3) Собрать реальную модель устройства и провести измерения;
- 4) Сделать выводы по работе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в ИГЭУ им. 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.).

Библиографический список

1. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для энерг. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.
2. **Огородников А.С.** Моделирование в среде MatLab – COMSOL 3.5a. Учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 104 с.

Д.А. Лебедева, маг.;
рук. О.В. Фролова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ БЛОКА ЛИНИЯ-ТРАНСФОРМАТОР

Токковая направленная защита нулевой последовательности (ТЗНП) применяется при необходимости обеспечения защиты высоковольтных линий электропередач от замыканий на землю. Она характеризуется включением цепей тока на фильтр токов нулевой последовательности, а цепей напряжения (реле направления мощности) на фильтр напряжения нулевой последовательности [1].

На блоке линия-трансформатор ТЗНП может быть выполнена достаточно чувствительной, так как ее не нужно согласовывать с защитами смежных элементов. Поэтому основными условиями выбора тока срабатывания защиты являются:

1. Отстройка от тока кратковременного неполнофазного режима, возникающего при одновременном включении фаз выключателя.

2. Отстройка от броска тока намагничивания трансформаторов, имеющих глухозаземленные нейтралы и включаемых под напряжение при включении линии.

3. Отстройка от тока небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока при коротком замыкании между тремя фазами за трансформаторами питаемых подстанций.

При одновременном включении фаз выключателя кратковременно возникает неполнофазный режим работы линии, характеризуемый разрывом на контактах выключателя одной или двух фаз. В связи с этим в линии кратковременно появляется ток нулевой последовательности.

При броске тока намагничивания включаемого трансформатора ток может превышать номинальный в несколько раз и приводить к несимметрии. Погрешности трансформаторов тока являются одной из основных причин появления тока небаланса в ТЗНП как в нормальном режиме, так и при внешнем коротком замыкании.

Для анализа влияния неполнофазных режимов, броска тока намагничивания и тока небаланса на работу токовой защиты нулевой последовательности в системе Matlab [2] выполнены соответствующие модели схемы блока линия-трансформатор.

Библиографический список

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. Энергия. – М., 1976.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 288 с.

*Н.В. Лебедева, студ.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н.,
В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.,
В.А. Шуин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕЗИСТИВНЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Через электрические кабельные сети среднего напряжения 6 – 10 кВ распределяется около половины вырабатываемой в стране электроэнергии. Аварии в кабельных сетях составляют около 70 % всех нарушений электроснабжения промышленных и бытовых потребителей, и, как

правило, сопровождаются значительным экономическим ущербом. В кабельных сетях 6 – 10 кВ преобладающим видом повреждений и первопричиной большей части аварийных отключений кабельных линий являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Поэтому актуальной задачей является создание указателей всех разновидностей ОЗЗ, устанавливаемых на ТП и позволяющих селективно определить поврежденных участков на магистральных КЛ.

Основной задачей работы являлось исследование частотных характеристик первичных преобразователей на основе резистивных делителей напряжения и традиционного трансформатора НТМИ 6-66.

В ходе исследований были получены частотные характеристики.

Обнаруженные закономерности поведения в частотной области измерительных преобразователей напряжения на основе резистивных делителей позволяют разработать методы компенсации их погрешностей. После выполнения разработанных мероприятий по компенсации погрешностей и частотных зависимостей резистивные делители напряжения могут быть использованы для совместной работы с устройствами релейной защиты, работающей как на традиционных, так и на волновых принципах.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки 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).

А.Ю. Меркулов, студ.;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕАЛИЗАЦИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ В МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

С развитием цифровой техники и ее внедрением в область электроэнергетики перед релейной защитой стали задачи развития МП УРЗА.

Предлагаемый вариант развития УРЗА базируется на использовании цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН). Перспективной

разработкой, осуществляемой в ИГЭУ, является мультифункциональная система, которая представляет собой взаимосвязь между ЦТТН, блоком РЗА и силовым оборудованием.

Данная система в зависимости от места установки блока РЗА имеет четыре основных варианта исполнения и один вариант традиционного исполнения:

1. Блок РЗА, установленный на ОРУ:
 - а) МП блок РЗА, встроенный непосредственно в ЦТТН;
 - б) МП блок РЗА, встроенный в МП терминал ЦТТН;
 - в) МП блок РЗА, встроенный в МП оборудование на ОРУ;
 - г) МП блок РЗА, встроенный в выключатели.
2. Блок РЗА, установленный на ОПУ.

Задачей данного исследования является разработка алгоритмов функционирования дифференциальной защиты объектов электроэнергетики.

В докладе будут представлены полученные результаты исследования и разработанные алгоритмы функционирования дифференциальной защиты объектов электроэнергетики.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки 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).

С.А. Сеницын, И.Е. Холопов, маг.;
рук. А.А. Фомичев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ

Увеличение чувствительности быстродействующих защит кабельных и воздушных линий 6 – 10 кВ является важной задачей, т.к. быстрая ликвидация КЗ позволяет предотвратить развитие серьезных повреждений (пожар кабеля) и избежать дорогостоящего ремонта.

В качестве традиционных защит от междуфазных КЗ на линиях 6 – 10 кВ с односторонним питанием используются ТО и МТЗ. К устройствам

РЗ подводятся сигналы от трансформаторов тока (ТТ), а при применении защит с пуском по напряжению и от трансформаторов напряжения (ТН).

На коротких линиях с односторонним питанием, ТО может не обеспечить чувствительность к КЗ даже в начале линии. В случае, если ток КЗ в начале линии отличается от тока при КЗ в конце линии менее чем на 20 %, то традиционную ТО принципиально невозможно выполнить чувствительной.

Целью работы является разработка алгоритма повышения чувствительности ТО на коротких линиях для микропроцессорных терминалов. Для работы данного алгоритма кроме сигналов от ТТ, необходимо использовать сигналы с ТН, как у ДЗ или МТЗ с пуском по напряжению.

Краткое описание работы алгоритма защиты: в момент КЗ по токам и напряжениям режима КЗ и режима предшествующего КЗ определяются комплексные значения ЭДС системы E_C и сопротивления системы Z_C , рассчитывается ток КЗ на шинах питающей сети $I_{кз}$; далее без учета сопротивления системы рассчитываются ток КЗ через защиту и ток срабатывания.

Для анализа действия алгоритма нами была разработана имитационная математическая модель КЛ 10 кВ, прилегающей сети и модель защиты в программном комплексе Matlab. Также в защите был реализован дополнительный алгоритм работы при дуговых КЗ.

Результаты моделирования показывают, что разработанный алгоритм защиты обладает значительно большей чувствительностью (до 80 % длины линии), чем традиционная ТО, которая во всех экспериментах не чувствительна к КЗ на всей длине линии.

Д.С. Шарыгин, В.А. Строгов, студ.;
рук. Г.А. Филатова, к.т.н., ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Датчики на основе пояса Роговского (ПР) (рис. 1) позволяют измерять ток и его производную без погрешностей, вызванных насыщением сердечника.

Были проведены эксперименты с использованием различных образцов ПР, в том числе при подаче в качестве первичного сигнала синусоидального тока в диапазоне частот до 1000 Гц, и при моделировании броска первичного тока. Данные, полученные с осциллографа, были проанализированы и построены графики первичного тока (экспериментального и рассчитанного по значениям напряжения на ПР) и напряжений с образцов ПР.

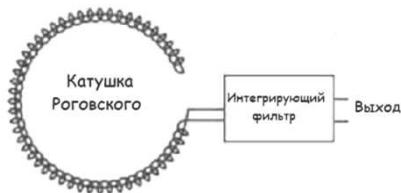


Рис. 1. Измерительный преобразователь тока с катушкой Роговского

Применение указанных датчиков может увеличить точность алгоритмов определения места повреждения по параметрам аварийного режима.

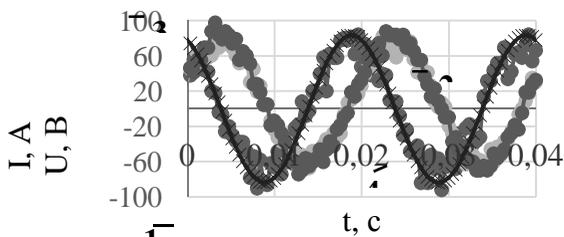


Рис. 2. Осциллограммы сигналов при частоте 50 Гц: 1 – первичный ток; 2 и 3 – напряжения $u(t)$ на образцах ПР, приведенные к первичному току; 4 – вычисленный первичный ток

А.С. Тимофеев, студ.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., ст. преп.,
Г.А. Филатова, к.т.н., ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Развитие нетрадиционных датчиков тока и напряжения (в т.ч. цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН)), позволяющих, по сравнению с традиционными преобразователями, измерять напряжение и ток без искажения их формы, за счет отсутствия насыщения, в более широком частотном диапазоне, предполагает существенное увеличение точности алгоритмов дистанционного определения места повреждения (ДОМП). В ИГЭУ на кафедре АУЭС совместно с ООО НПО «Цифровые измерительные трансформаторы» разработаны цифровые трансформаторы тока (ЦТТ) и напряжения (ЦТН), а также комбинированные трансформаторы (ЦТТН) для классов напряжений 6 (10), 35, 110 и 220 кВ

(рис. 1). На завершающем этапе находятся работы по внесению разработанных цифровых трансформаторов в единый реестр средств измерений.

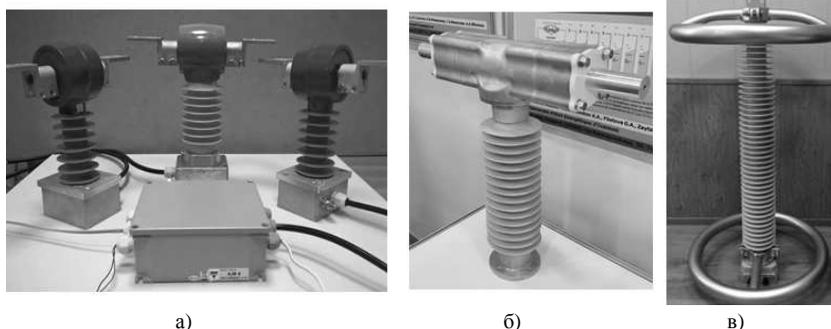


Рис. 1. Опытные образцы цифровых трансформаторов тока и напряжения: а – ЦТТН 6 (10) кВ; б – ЦТТН 35 кВ; в – ЦТН 110 кВ

В настоящее время разрабатываются способы ДОМП на основе замеров параметров аварийного режима, с использованием пояса Роговского в качестве первичного преобразователя тока. Исследуется влияние на точность алгоритмов ДОМП следующих факторов: метод преобразования и расчета электрических величин и их производных; использование различных входных фильтров; наличие переходного сопротивления в месте короткого замыкания и др.

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

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НА ТОК НЕБАЛАНСА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ

Дифференциальная защита трансформаторов применяется для предотвращения аварийных и ненормальных режимов работы при возникновении короткого замыкания между фазами, межвитковых КЗ и замыкания одной или более фаз на землю. Такая защита применяется как основной вид автоматического отключения для мощных трансформаторов и для трансформаторов меньшей мощности, в случае если другие виды защиты не обеспечивают требуемого быстродействия.

Принцип работы дифференциальной защиты заключается в сравнении токов входящих и выходящих из трансформатора и отключении трансформатора при неравенстве токов. При внешних КЗ и нагрузке обеспечить пол-

ный баланс вторичных токов, поступающих в реле, не удастся. Вследствие неравенства вторичных токов в реле в указанных режимах появляется ток небаланса, который может вызвать неправильную работу защиты.

Погрешности трансформаторов тока являются одной из основных причин появления тока небаланса в дифференциальной защите как в нормальном режиме, так и при внешнем коротком замыкании. Величина погрешностей зависит от величины и характера нагрузки на трансформаторы тока и возрастает при увеличении первичного тока.

При правильно выбранной нагрузке в цепях вторичных обмоток не происходит насыщения стали трансформаторов тока при любых возможных токах внешних КЗ, поэтому для того, чтобы погрешность не превышала допустимую, трансформаторы тока необходимо выбирать по 10 %-ным кривым.

В дифференциальных защитах трансформаторов установившиеся значения тока небаланса наиболее велики. Кроме перечисленных выше причин, определяющих ток небаланса, существенную роль играет конструктивная разнотипность трансформаторов тока, устанавливаемых на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений защищаемого трансформатора. У разнотипных трансформаторов тока, характеристики намагничивания резко различаются, и даже при одинаковых сопротивлениях нагрузки на трансформаторы тока разница в токах намагничивания велика. Для трансформаторов тока, вторичные обмотки которых соединены в треугольник, нагрузки увеличиваются в 3 раза.

В результате работы в интерактивной среде Matlab на разработанной модели, включающей в себя программируемый источник питания, трансформатор с возможностью регулирования напряжения и отходящую нагрузку, был произведен анализ влияния погрешностей трансформаторов тока на дифференциальный ток в защите трансформаторов при внешних КЗ и в режимах без КЗ.

Т.Е. Фролова, студ.;
рук. В.А. Шуин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ ЗА ТРАНСФОРМАТОРАМИ ПОНИЗИТЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Введение. В качестве резервных защит от междуфазных коротких замыканий (КЗ) на ЛЭП высокого напряжения, как с двусторонним, так и

с односторонним питанием, наиболее широкое применение получили дистанционные защиты (ДЗ). На эффективность дальнего резервирования (ДР) – чувствительность резервных ступеней ДЗ – при несимметричных КЗ за трансформаторами понизительных подстанций оказывает влияние множество факторов, основными из которых являются трансформация «звезда-треугольник» (Y/Δ), переходное сопротивление в месте КЗ, подпитка места КЗ от других источников, наличие угла сдвига фаз между ЭДС по концам ЛЭП и др.

Постановка задачи. Применяемые в настоящее время методики выбора уставок резервных ступеней ДЗ не учитывают комплексное влияние указанных факторов, что может привести к отказам срабатывания защиты. В данной работе дается анализ влияния трансформации Y/Δ, переходного сопротивления в месте КЗ, нагрузки, соотношения двигательной и статической нагрузки, величины сопротивления питающей системы и мощности силового трансформатора на работу резервных ступеней ДЗ с полигональными характеристиками срабатывания в целях уточнения методики выбора параметров их срабатывания по условиям чувствительности к КЗ за трансформатором Y/Δ.

Метод исследований. Анализ выполнен с использованием аналитического решения и имитационного моделирования в среде системы Matlab.

Результаты исследований. Проведенные исследования показали, что наиболее существенное влияние на замер сопротивления в месте КЗ оказывают трансформация Y/Δ и переходное сопротивление в месте КЗ. Остальными факторами, влияющими на чувствительность резервных ступеней ДЗ, при выборе уставок срабатывания можно пренебречь.

Вывод. Результаты исследований позволяют уточнить методику выбора уставок по сопротивлению срабатывания резервных ступеней дистанционной защиты на ЛЭП с односторонним питанием.

*В.А. Соколов, М.А. Харахнин, маг.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА С УЧЕТОМ ГЛУБОКОГО НАСЫЩЕНИЯ

Функционирование устройств релейной защиты в значительной мере зависит от качества точности представления исходных данных о параметрах процессов в защищаемом объекте. Первичными преобразователями тока в электроэнергетической системе являются трансформаторы тока.

Известно, что при возникновении короткого замыкания, процесс перемагничивания трансформатора тока, до момента насыщения, протекает таким образом, что вторичный ток преобразуется без погрешностей или с очень малыми погрешностями. Время до насыщения составляет не менее двух миллисекунд. По замерам тока на этом интервале можно восстановить форму вторичного тока на всем интервале наблюдения. Для этого могут использоваться как известные алгоритмы (например, Манна–Морисона), так и вновь предлагаемые. При решении этой задачи необходимо знать форму вторичного тока трансформатора тока в условиях насыщения. На основании измерений тока и анализа формы кривой вторичного тока следует выявить участки точной передачи сигнала. Для решения поставленной задачи необходимо достаточно хорошо представлять форму вторичного тока в условиях насыщения магнитопровода. Однако теоретические исследования процессов перемагничивания стали длятся более 100 лет и до конца не завершены. Поэтому, создать математическую модель на основе строгих аналитических выражений физики твердого тела не представляется возможным. В связи с этим, целесообразен подход имитации в математической модели процесса перемагничивания на основе анализа измерений, полученных в физическом эксперименте.

Библиографический список

1. Сирота М.И. Переходные режимы работы трансформаторов тока / М.И. Сирота. – М.: Изд. АН УССР, 1961.
2. Славутский А.Л. Учет остаточной намагниченности в трансформаторе при моделирование переходных процессов / А.Л. Славутский // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 1. – С. 122 – 130.

М.А. Харахнин, В.А. Соколов, маг.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЦИФРОВАЯ КОРРЕКЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВЫЗВАННЫХ НАСЫЩЕНИЕМ МАГНИТОПРОВОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА ДЛЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Магнитопровод электромагнитного трансформатора тока, используемого в качестве первичного измерительного преобразователя для релейной защиты, при значительных токах короткого замыкания, при больших сопротивлениях нагрузки во вторичной цепи может войти в режим насыщения. Это приводит к искажению формы вторичного тока и нарушению устойчивости функционирования релейной защиты.

При возникновении короткого замыкания, процесс перемагничивания магнитопровода трансформатора, до момента насыщения, протекает с достаточно высокой точностью преобразования тока. Длительность интервала от начала процесса замыкания до момента насыщения составляет не менее двух миллисекунд. Производя на этом интервале достаточное количество отсчетов и используя специальные алгоритмы, можно с достаточно высокой точностью вычислить амплитуду и фазу первой гармоники вторичного тока. Эту задачу решают, например, алгоритмы Манна–Морисона, В.Ф. Короткова.

При решении задачи необходимо, во-первых, на основании измерений тока и анализа формы кривой вторичного тока выявить интервал точной передачи сигнала. Для этого используется анализ первой и второй производных тока. Во-вторых, цифровым фильтром выделяется основная гармоника тока. Следует отметить сложность в подавлении гармоник низкого порядка при коротком интервале наблюдения. В-третьих, применяется алгоритм определения параметров первой гармоники.

Библиографический список

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход.
2. Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов.
3. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация.

И.С. Хованова, маг.;
рук. О.В. Фролова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО И ФАЗОВОГО ВЫРАВНИВАНИЯ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ ТРАНСФОРМАТОРА

Дифференциальная защита на микропроцессорной (МП) элементной базе обладает более расширенными и качественными защитными функциями по сравнению с электромеханической и микроэлектронной защитой.

Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на пофазном сравнении токов, протекающих через участки со всех сторон защищаемого объекта. В силу сложности такого защищаемого объекта, как трансформатор ток небаланса в защите зависит от множества факторов. В данной работе исследуется влияние амплитудного и фазового неравенства токов сторон силового трансформатора.

Ток на стороне низшего напряжения трансформатора всегда больше тока на стороне высшего напряжения. Их соотношение определяется ко-

эффицентом трансформации силового трансформатора. В трансформаторе с различными схемами соединением обмоток эти токи и различаются не только по значению, но и по фазе. Угол сдвига фаз зависит от группы соединения обмоток трансформатора. При одиннадцатой группе линейный ток на стороне треугольника опережает линейный ток со стороны звезды на 30° . Для выполнения условия селективности необходимы специальные меры по выравниванию вторичных токов по значению, а при разных схемах соединения обмоток (звезда / треугольник и треугольник / звезда) – и по фазе с тем, чтобы поступающие в реле токи были равны. Компенсация фазового сдвига производится с помощью соединения обмоток: на стороне обмотки трансформатора, соединенной в звезду, обмотки трансформатора тока соединяются в треугольник, а со стороны треугольника – в звезду. МП устройства защиты могут производить фазовое согласование путем выполнения математических операций в самом терминале, поэтому обмотки трансформатора тока соединяются в звезду независимо от схемы соединения обмоток силового трансформатора.

Компенсация фазового сдвига необходима, если вторичные токи сторон, подводимые к терминалу, имеют сдвиг по фазе. Сдвиг по фазе возникает, если схемы соединения обмоток сторон различны. Выравнивание вторичных токов всех сторон можно осуществлять двумя способами: путем подключения измерительных трансформаторов тока (ТТ) сторон к различным ответвлениям промежуточных ТТ и математическим выравниванием программным способом путем задания базисных токов.

На математической модели в системе Matlab было проанализировано амплитудное выравнивание токов с помощью промежуточных ТТ, появляющийся небаланс в дифференциальной защите с учетом выравнивания токов цифровым методом. Пофазное выравнивание с помощью соединения ТТ по схеме Δ и Y , цифровое выравнивание – суммированием векторов токов.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРЕДЕЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Традиционным релейным защитам на электромеханической элементной базе активно приходят на смену современные цифровые устройства, имеющие в себе функции как защиты и автоматики, так и управления и

сигнализации. Применение цифровых терминалов дает ряд преимуществ: повышает чувствительность защит, существенно уменьшает время срабатывания, повышает надежность и в целом снижает ущерб от перерывов в электроснабжении. Для силовых трансформаторов предусмотрена установка продольной дифференциальной защиты без выдержки времени (ДЗТ) для защиты от повреждений на выводах, а также от внутренних повреждений. Устройства ДЗТ должны отключать короткие замыкания (КЗ) с наименьшей выдержкой времени для уменьшения возможных повреждений и времени восстановления объекта. Разрабатываются и исследуются новые методы повышения быстродействия и чувствительности ДЗТ.

На функционирование ДЗТ могут оказывать существенное влияние многочисленные факторы, сопутствующие работе силового трансформатора. Для нормальной работы потребителей необходимо поддерживать уровень напряжения на шинах подстанций. Предусматриваются способы регулирования напряжения, одним из которых является изменение коэффициента трансформации трансформаторов. Изменение режимных параметров, и возникающие в их процессе переходные процессы могут привести к изменению в работе ДЗТ, крайним случаем которого будут являться избыточное срабатывание защиты или отказ защиты.

Компенсация неравенства первичных токов, осуществляемая с помощью выравнивающего трансформатора или автотрансформатора, обеспечивается при определенном соотношении токов обмоток высшего и низшего напряжения силового трансформатора, определяемом коэффициентом трансформации. При изменении коэффициента трансформации компенсация и равенство вторичных токов нарушаются, и в дифференциальном реле появляется ток небаланса. Регулирование осуществляется изменением числа витков на стороне высшего напряжения.

Исследование режимов регулирования трансформатора было выполнено на разработанной модели в Matlab. Модель включает в себя программируемый источник питания, трансформатор с регулированием напряжения, отходящую линию и нагрузку. В результате работы было проанализировано поведение дифференциальной защиты при регулировании коэффициента трансформации силового трансформатора в режимах без КЗ, при внутренних и внешних КЗ разных видов путем исследования модели трансформатора.

СЕКЦИЯ 16

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

Председатель – д.т.н., профессор Мартынов В.А.

Секретарь – к.т.н., доцент Сайкин М.С.

Н.В. Бондарева, студ.;
рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., проф.
(СамГТУ, г. Самара)

ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС В ЛИНИЯХ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ

Перекачка высоковязкой нефти является одной из основных проблем трубопроводного транспорта. Наиболее эффективным способом воздействия на реологические свойства нефти является подогрев [1]. Предлагается рассматривать применение индукционного нагрева нефтепродуктов при перекачке. Это позволит повысить экономическую эффективность, надежность работы систем нагрева и улучшить экологическую обстановку. Расчет и проектирование нагревателя выполняется на основе математической модели, описывающей электромагнитные и тепловые процессы в структуре тел «индуктор–система труб–поток жидкости». Теплообмен описывается системой уравнений Максвелла и Фурье для электромагнитных и тепловых полей.

Для расчета электромагнитных источников тепла математическая модель исследуемого электромагнитного поля может быть представлена для комплексной амплитуды векторного потенциала в виде [2]:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{\mu_a(r, z)} \cdot \frac{\partial A(r, z)}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{\mu_a(r, z)} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial r A(r, z)}{\partial r} \right] - j\omega\gamma A(r, z) - J_0(r, z) = 0,$$

где A – векторный магнитный потенциал, ω – частота. В качестве граничных условий для определенности задачи приняты наиболее общие условия – равенство нулю векторного потенциала на границе расчетной области, находящейся в бесконечности. В реальной ситуации граница области должна быть достаточно удалена от источников тока, где магнитная энергия поля действительно спадает до нуля.

Далее разрабатывается математическая модель тепловых процессов в сложной физически неоднородной системе сопряженных тел с относительным движением. Моделирование электромагнитных источников тепла проводится в ПК ELCUT 5.7 Professional. Результаты использованы для разработки конструкции индукционного нагревателя непрерывного действия для высокотемпературного нагрева нефти.

Библиографический список

1. **Фонарев З.И.** Электроподогрев трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования в нефтяной промышленности. – Л.: Недра, 1984. – 148 с.
2. **Немков В.С.,** Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Энергомиздат, 1988. – 280 с.

*А.С. Шаповалов;
рук. Т.Ю. Дунаева, к.т.н., доц.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов)*

СИМУЛЯЦИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В ходе исследования была изучена типовая схема источника питания магнетрона СВЧ ЭТУ и произведена симуляция её работы. Для симуляции использована программа на основе ядра SPICE [1]. Программа достаточно удобна, универсальна, позволяет создавать новые библиотечные элементы, редактировать схемные решения, производить моделирование и просматривать его результаты. В программе имеется встроенная библиотека моделей элементов электронных схем.

Были решены следующие задачи:

1. Созданы модели основных элементов блока питания, а именно: повышающего трансформатора, магнетрона, высоковольтного конденсатора и диода. Магнетрон представлен схемой замещения, которая включает последовательно соединённые источник противоЭДС, величина которой численно равна пороговому напряжению, диод VD, характеризующий одностороннюю проводимость магнетрона по анодной цепи, а также нелинейный резистор R, который моделирует динамическое сопротивление магнетрона [2]. Катод в модели представлен резистором с изменяющимся сопротивлением.

2. Проведено схемотехническое моделирование работы схемы блока питания магнетрона в симуляторе LTSpice; получены временные зависимости токов и напряжений анодного блока.

3. Проанализированы полученные результаты и сравнены с зависимостями, полученными экспериментальным путем [3]. В результате сравнения сделан вывод о том, что получившаяся модель довольно достоверно отражает работу реального блока питания. Сделан вывод об адекватности моделирования.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании источников питания СВЧ электротехнологических установок.

Библиографический список

1. **Milpitas**, California, USA. Linear Technology Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.linear.com/solutions/ltspice>.
2. **Артюхов И.И.** О подходе к моделированию магнетронного генератора малой мощности / И.И. Артюхов, А.И. Земцов, Е.В. Сошинов // Вестник СГТУ. – 2012. – № 2 (66). – С. 20 – 27.
3. **Analysis** of magnetron operation by the shape of the anode current. Rogozhin K.V., Ivanov V.A., Sidorenko D.S. // Proceedings of the 2014 IEEE North West Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRusNW – 2014. – С. 60 – 62.

В.С. Докучаев, студ.;
рук. В.Ю. Кожеевников, к.т.н., доц.
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов)

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛА ЭНЕРГИЕЙ СВЧ-ПОЛЯ

Наиболее значимое направление в стекольной промышленности – создание и совершенствование энергосберегающих технологий.

Пеностекло – высокопористый ячеистый материал, получаемый спеканием тонкоизмельченного стеклянного порошка и газообразователя.

В ходе работы была выяснена необходимость повышения эффективности электротехнологии получения пеностекла путем применения СВЧ-энергоподвода. Разработана математическая модель получения пеностекла с помощью СВЧ-энергоподвода, представляющая собой самосогласованную задачу электродинамики, тепломассопереноса и кинетики.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot}\vec{H} = \left[\vec{\sigma}\vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right], \text{div}\vec{E} = 0, \text{rot}\vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \text{div}\vec{H} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \Delta u = f(r, t) \\ M(t) \frac{dv}{dt} = u_1(t) \frac{dm_1}{dt} - u_2(t) \frac{dm_2}{dt} + F \end{array} \right.$$

В результате проведения технико-экономических расчетов, установлена целесообразность СВЧ-электротехнологического процесса получения пеностекла в непрерывном режиме.

Таким образом:

- установлена технологическая возможность производства пеностекла с помощью СВЧ-энергоподвода,
- установлена технико-экономическая эффективность процесса,
- получена математическая модель процесса вспенивания, состоящая из уравнений Максвелла, теплопроводности и изменения массы.

Численные эксперименты по вспениванию пеностекла позволят выработать обоснование параметров технологической установки непрерывного производства.

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

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЕЗИНСЕКЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ЭНЕРГИЕЙ СВЧ ПОЛЯ

Современные методы дезинфекции семян при подготовке их к посеву, как и методы предпосевной стимуляции, можно классифицировать на биологические, химические и физические. Технология СВЧ дезинфекции семян в простейшем случае заключается в предварительном поверхностном увлажнении зараженных семян с последующим термическим обеззараживанием СВЧ энергией. В общем случае процессы дезинфекции, дезинфекции, так и при предпосевной стимуляции семян ЭМП СВЧ предусматривают СВЧ обработку объема (в камере) или слоя (под излучателем) семян (рисунок 1).

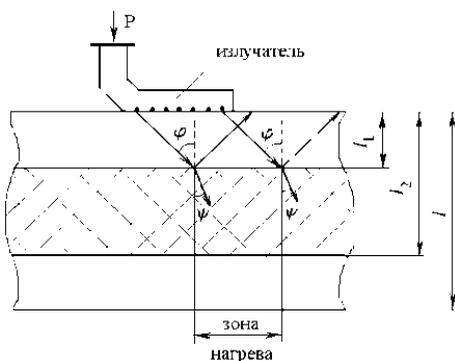


Рис. 1. Распространение излучения от волноводно-щелевого излучателя

Если вектор электрического поля E перпендикулярен плоскости падения (перпендикулярная поляризация), то коэффициент отражения от этой границы равен:

$$\Gamma = \frac{\eta_2 \cos \varphi - \eta_1 \cos \psi}{\eta_2 \cos \varphi + \eta_1 \cos \psi} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \varphi - \sqrt{\varepsilon_2} \cos \psi}{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \varphi + \sqrt{\varepsilon_2} \cos \psi}.$$

Для реализации задачи построения СВЧ ЭТУС для дезинсекции необходимо промоделировать процесс воздействия СВЧ электромагнитной энергии в камере лучевого типа. В результате решения этой задачи будут определены основные технологические параметры процесса дезинсекции в непрерывном режиме.

А.О. Большаков, студ.;
рук. М.Г. Марков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Установки индукционного нагрева широко применяются в различных производствах для выплавки и обработки металлов [1]. При этом важно получать достоверную информацию о ходе технологического процесса. Эта задача требует применения современных и высокотехнологических устройств измерения и наглядного представления информации.

Для решения поставленных целей выбран микроконтроллер STM32F407VG на отладочной плате STM32-discovery [2]. В работе уже реализованы снятие и обработка данных параметров сети, во время работы индукционной печи.

Главной проблемой было преобразование переменного тока и напряжения в напряжение, доступное АЦП, а именно в однополярное напряжение от 0 до 3 В. Для преобразования тока в напряжение использовался шунт и трансформатор тока. Для понижения напряжения сети и гальванической развязки – трансформатор напряжения. Задача преобразования из двухполярного напряжения в однополярное решена за счет резистивной матрицы и источника опорного напряжения.

В настоящий момент решается задача со сбором и анализом электрических параметров с индуктора во время работы индукционной печи. Из-за высокой частоты микроконтроллер не успевает адекватно оценивать результаты работы печи, поэтому оценка результатов происходит не напрямую, а через специальный синхронный выпрямитель, на электронных ключах. Сигнал напряжения усиливается и подается на управление этими ключами. Каждый ключ полпериода подает соответствующее значение тока и напряжения на сглаживающий конденсатор, а полпериода нет. В итоге получаем, что часть ключей дают две составляющие выпрямленного напряжения, синусную и косинусную, а часть ключей дают аналогичные данные по току. Вся информация поступает в микроконтроллер, где программно рассчитывается и оценивается действующее значение напряжения и тока. Для оценки мощности на индукторе предполагается использование специальных аналоговых перемножителей.

Библиографический список

1. **Слухоцкий А.Е.** Установки индукционного нагрева. – Л.: Энергоиздат, 1981.
2. **STMicroelectronics** User Manual, 2011.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS

В настоящее время одной из распространённых технологических операций является индукционный нагрев, область применения которого включает в себя различные производственные процессы, связанные с нагревом и плавкой металлов [1]. Независимо от назначения индукционной установки основным её элементом является индуктор, выбор конфигурации которого определяется требованиями к распределению температуры в объёме изделия и энергетическими показателями процесса нагрева. При этом проектирование индукторов для нагрева плоских поверхностей требует тщательной проработки различных вариантов их конструктивных параметров, рациональных к применению для каждого конкретного технологического процесса. Указанное обстоятельство связано с отрицательным действием эффекта близости, проявляющимся при протекании переменного тока в прямом и обратном проводах индуктора, что приводит к ослаблению результирующего тока в нагреваемой детали и уменьшению выделяющейся в ней активной мощности.

Перспективным способом изучения индукционного нагрева является имитационное моделирование связанных с ним процессов на основе использования современных программных комплексов. Одним из них является программа полевого моделирования COMSOL Multiphysics, позволяющая исследовать электромагнитные и температурные поля в изделии [2] как в отдельности, так и в комплексе.

В докладе рассматривается методика моделирования электромагнитных процессов индукционного нагрева поверхности стального диска индуктором в виде плоской катушки индуктивности с различным числом витков в режиме стабилизации тока в ней. Проведённые исследования позволили получить картины распределения объёмной плотности тепловыделения в расчётной области и определить энергетические показатели процесса нагрева.

Библиографический список

1. **Теоретические** основы и аспекты электротехнологий. Физические принципы и реализация. Интенсивный курс. Основы I. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 359 с.
2. **Прахт, В.А.** Моделирование тепловых и электромагнитных процессов в электротехнических установках / В.А. Прахт, В.А. Дмитриевский, Ф.Н. Сарапулов. – М.: Издательство «Спутник+», 2011. – 158 с.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

В настоящее время при высоком темпе развития технологий рынок сварочного оборудования переполнен. Производители предлагают множество моделей сварочных аппаратов, отличающихся назначением, функциями, ну и, конечно же, ценой. В связи с этим возникает вопрос выбора подходящего, удовлетворяющего всем технологическим критериям сварочного источника питания.

Основными источниками питания для дуговой сварки являются трансформаторы и инверторы. Мировое производство оборудования для дуговой сварки на сегодняшний день превысило 5 млрд. долларов, из них около 80 % приходится на инверторные сварочные источники питания, причем их доля, как наиболее перспективных, с каждым годом увеличивается. Их КПД не ниже 70 %, а иногда достигает и 90 %. Такие источники обеспечивают стабилизированный постоянный сварочный ток, не зависящий от колебаний входного напряжения и обеспечивающий, таким образом, устойчивую дугу и малое разбрызгивание при сварке. Помимо всего прочего, инвертор имеет меньшие массогабаритные показатели в отличие от сварочного трансформатора.

Главный недостаток инверторного выпрямителя заключается в чрезмерной сложности устройства и связанной с этим низкой надежностью и ремонтпригодностью. Специфическим недостатком является также повышенный шум, издаваемый высокочастотным трансформатором, выходным фильтром и дугой, а также принудительная система охлаждения.

Несмотря на то, что сварочные трансформаторы уступают инверторам по массогабаритным показателям, они все же не уходят с рынка сварочного оборудования. Они применяются для ручной дуговой сварки штучными электродами и в защитном газе, а также для сварки под флюсом. Главными достоинствами сварочных трансформаторов являются простота конструкции и низкая стоимость (в 2 и более раза дешевле инверторов), а также связанные с этим надежность, ремонтпригодность. При этом создаются новые их модели с улучшенными технологическими параметрами и КПД.

В прогнозах развития сварочного производства отмечается, что в ближайшем будущем сварочные трансформаторы останутся конкурентоспособными на рынке сварочных источников питания, поскольку им нет равных по простоте, дешевизне и надежности.

*С.В. Шувалов, студ.;
рук. А.В. Алейников, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

С момента открытия и до настоящего времени сварка играет огромную роль практически на любом производстве. Развитие технологий сварки позволяет ускорить производство, повысить его качество, а также ощутимо снизить расходы сырья.

С повышением требований к качеству сварки, повышаются требования и к самим сварочным агрегатам. Они должны обеспечивать максимально комфортную и качественную работу, поэтому необходимо совершенствование или разработка новых аппаратов, удовлетворяющих выдвигаемым критериям.

В настоящее время существует много разновидностей сварочных аппаратов, позволяющих сваривать практически любой металл, но часто работник сталкивается с тем, что возможностей агрегата не хватает для сварки тех или иных металлов [1]. Например, алюминий требует не только защитной атмосферы, но и переменного тока [2]. Для остальных металлов более предпочтительным является постоянный ток. Поэтому для экономической выгоды, улучшения качества шва, а также удобства использования целесообразно разработать один источник, удовлетворяющий всем требованиям.

Целью нашей работы является разработка цифрового источника сварочного тока, который позволяет выбирать не только силу, но и род тока. Данный источник позволит тонко регулировать и подбирать режим сварки.

Основным преимуществом можно выделить то, что изменение области работ и свариваемых металлов, не заставят исполнителя менять источник, нужно только поменять периферийное оборудование и произвести настройку нового режима. Все это должно обеспечить повышение скорости и качества работ.

Библиографический список

1. **Фролов В.В.** Теория сварочных процессов. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
2. <http://www.tyap-lyap.org/>.

*С.Н. Праздников, магистрант;
рук. К.В. Куликов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОДАВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ

Импульсные (инверторные) блоки питания (ИП), с промежуточным звеном постоянного тока, имеют в своей основе высокочастотный генератор большой мощности и трансформатор сложной конструкции. В этих устройствах в силу наличия «паразитных» емкостей генерируются нежелательные помехи. На коллекторах (стоках) силовых ключей инвертора должно быть напряжение, близкое по форме к прямоугольному, амплитудой 300...700 В. Кроме того, в ИП существуют замкнутые цепи, по которым протекают высокочастотные токи с достаточно крутыми фронтами и спадами ($0,1 \times 10^{-6}$... 1×10^{-9} с) и амплитудой до нескольких сотен ампер. Эти факторы приводят к появлению нежелательных резонансных явлений в процессе коммутаций.

Резонансные явления не лучшим образом сказываются на надежности самого ИП и, кроме того служат источником интенсивных помех, спектр которых может достигать 100 МГц. Величина этих паразитных сигналов зависит от частоты преобразования, качества входных и выходных фильтрующих цепей, а на частотах свыше 60 КГц – от конструктивных особенностей элементов силовой части ИП и монтажной схемы преобразователя.

В качестве примера использовалась модель силовой части источника питания сварочной дуги составленной в среде LTspise.

Были рассмотрены процессы протекающие в высокочастотном трансформаторе инверторного источника питания.

Были выявлены причины искажений форм тока и напряжения, возникающие в системе «силовой транзистор – высокочастотный трансформатор».

Показано, что для снижения высокочастотных гармонических параллельно необходимо вводить в схему последовательная RC-цепи, называемые снабберными.

Вывод: При проектировании мощных источников питания необходимо на стадии расчета определять несколько первых резонансных частот. На стадии разработки схемы необходимо вводить в силовую часть специальные цепи, подавляющие резонансные частоты.

*И.С. Снитко, ст. преп.;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ СИМВОЛИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГООБМОТОЧНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В многообмоточных силовых трансформаторах при синусоидальных источниках электрической энергии вследствие нелинейности кривых намагничивания сталеи и явления гистерезиса токи и (или) потокосцепления ветвей в общем случае несинусоидальны. В общем случае магнитную цепь трансформатора можно представить состоящей из ферромагнитных тел, немагнитных областей заполненных проводниками с током, и немагнитных областей без проводников.

Как правило, расчетная схема электрической цепи содержит несколько электромагнитных устройств, например, трехфазных трансформаторов с различными схемами соединения обмоток, при этом значения напряжений, приложенных к ветвям трансформаторов, являются неизвестными. При анализе симметричных режимов работы таких цепей могут применяться любые известные методы расчета с существующими допущениями. Обычно они дают достаточную точность при небольших вычислительных затратах.

Для несимметричных режимов работы чаще всего используется метод симметричных составляющих, при использовании которого определение параметров схемы замещения для токов нулевой последовательности может представлять значительную трудность.

Предлагаемый символический метод анализа разветвленных магнитных цепей многообмоточных силовых трансформаторов основан на понятии комплексной магнитной проницаемости. Он предполагает использование кусочно-линейного метода Ньютона–Рафсона и позволяет с небольшими вычислительными затратами рассчитывать установившиеся режимы работы трансформаторов с учетом дискретности и несимметрии структуры обмоток, насыщения магнитной цепи и потерь в стали на гистерезис и вихревые токи, а также влияния технологических факторов при симметричных и несимметричных режимах работы. Данный метод может быть применен к расчету не только отдельных трансформаторов, но и к участкам энергосистем, содержащим большое количество различных электромагнитных устройств.

А.Ю. Бодрягин, студ.;
рук. А.Н. Голубев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ СВАРОЧНЫХ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Приводы современных робототехнологических комплексов (РТК) для сварки должны обеспечивать высокую статическую и динамическую точность [1].

Данные требования реализуют системы векторного управления, которые осуществляют раздельное управление потокоцеплением, электромагнитным моментом и скоростью вращения асинхронного электродвигателя (АД). Реализация векторной системы такой САУ представлена на рис. 1.

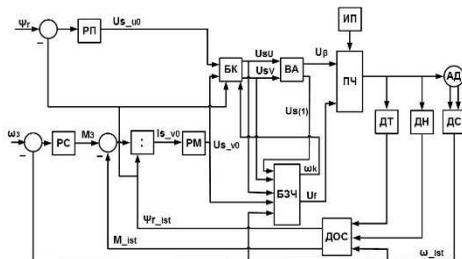


Рис. 1. Функциональная схема электропривода

Особенность схемы – отказ от прямых и обратных координатных преобразований электромагнитных переменных двигателя. Выходными сигналами САУ является задание на амплитуду и частоту питающего напряжения, что позволяет использовать АД с произвольным числом фаз ($m > 3$).

Функциональная схема электропривода содержит два канала регулирования, выходные сигналы которых поступают на вычислитель амплитуды (ВА), задающий модуль подводимого к статору асинхронного двигателя напряжения и блок задания частоты (БЗЧ), формирующий фазу напряжения статора.

Верхний канал задания амплитуды напряжения статора представляет собой замкнутый контур регулирования потокоцепления ротора с регулятором потокоцепления (РП). Второй (нижний) канал включает в себя два замкнутых контура: внешний контур регулирования скорости АД с регулятором скорости (РС) и внутренний контур регулирования электромагнитного момента с регулятором момента (РМ). Развязка каналов реализуется с помощью блока компенсации (БК).

Библиографический список

1. Автоматизация сварочных процессов / под ред. В.К. Лебедева, В.П. Черныша. – Киев: В. школа, 1986. – 296 с.

*П.О. Хлопонин;
рук. В.В. Зеленко
(БНТУ, г. Минск)*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБМОТОК СТАТОРОВ
АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО АЧХ**

Высокой чувствительностью к витковым замыканиям обладают методы, основанные на резонансных свойствах обмоток. Они базируются на анализе амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик обмоток или использовании резонансных эффектов.

Увеличение достоверности контроля основано на использовании резонансного участка АЧХ, получающего максимальное изменение при витковом замыкании и минимальное при отклонении параметров исправной обмотки.

Частотные характеристики, полученные с помощью разработанных схем, определяются выражением:

$$|U(f)| = |U_{1\phi}(f) - U_{2\phi}(f)| = |I_n(f)[Z_{1\phi}(f) - Z_{2\phi}(f)]|.$$

Чувствительность контроля обмотки к одному витковому замыканию можно определить как относительное увеличение амплитуды сигнала при возникновении дефекта

$$\mathcal{C} = \frac{U_d(f) - [U_n(f) + \Delta U_n(f)]}{U_n(f) + \Delta U_n(f)}.$$

Наибольшую чувствительность можно получить, используя частотную область на 20 – 30 % ниже частоты максимума.

Одна чувствительность не определяет возможность обнаружения виткового замыкания, так как приращение амплитуды фиксируемого сигнала при изменении амплитуды входного вследствие нестабильностей может быть воспринято как возникновение дефекта.

Для устранения этого должно соблюдаться соотношение

$$\frac{|Z_d(f) - Z_u(f)|}{\delta_E |Z_d(f)| + \frac{d|Z_d(f)|}{df} \Delta f} > 1.$$

Чаще всего витки замыкаются через сопротивления до 10 Ом, что снижает реакцию выходного параметра от таких скрытых дефектов. Для обеспечения достоверности контроля необходимо исключить влияние нестабильности амплитуды диагностического сигнала путем анализа состояния обмотки по фазовым соотношениям снимаемых сигналов.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АРТП «АХИЛЛЕОН» ОТ СЕТИ С НЕКАЧЕСТВЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Важнейшим звеном в системе обеспечения безопасности мореплавания в РФ являются береговые системы управления движением судов (СУДС).

По независящим от предприятия причинам в районе автоматизированного радиотехнического поста (АРТП) «Ахиллеон» (входящего в состав СУДС Керченского пролива) имеют место кратковременные (3 – 5 секунд) провалы напряжения сети на разных фазах. Падение напряжения достигает 50 В от 380 В. Аварийное питание АРТП осуществляется электростанцией Perkins P-27, контроль качества напряжения сети и электростанции – контроллером DSE-7320.

В процессе эксплуатации в течение 2013 года оборудование выходило из строя, контроллер DSE-7320 при каждом провале запускал аварийную электростанцию, это происходило до 20 – 25 раз в сутки. Начальником службы связи Орденцовым А.А. и начальником гарантированного электроснабжения Рыбиным А.Г. было принято техническое решение о включении в систему стабилизатора напряжения «Лидер» с плавными характеристиками стабилизации после вводного автоматического выключателя и источника бесперебойного питания «СИПБ10КД» после «автоматического выбора резерва», чтобы исключить отсутствие напряжения за время запуска аварийной электростанции. Установка стабилизатора напряжения дала возможность скорректировать параметры напряжения сети. В результате частые запуски ДГУ были устранены, оборудование работает в штатном режиме.

При прохождении освидетельствования в августе 2017 года СУДС Керченского пролива комиссией были одобрены внедренные изменения в систему гарантированного электроснабжения.

Таким образом, проведенные на АРТП «Ахиллеон» исследования доказали необходимость установки стабилизатора напряжения и источника бесперебойного питания. Такие меры позволили защитить радиолокационное оборудование.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ). Министерство энергетики Российской Федерации, 7-е издание. – 2016.
2. **Приказ** Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. № 226.

*А.Н. Солодунова, А.В. Солодунов, магистранты;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н.
(ФГБОУ ВО «КГМУ», г. Керчь)*

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕРНИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

В электроэнергетической отрасли остро стоит вопрос о модернизации сетей и подстанций. Оборудование, установленное 45 – 50 лет назад, выработало свой ресурс. Работоспособность масляных выключателей, разрядников, измерительных трансформаторов во многом сохраняется за счет того, что оборудование было изготовлено с многократным запасом прочности [1].

Высоковольтные выключатели исчерпали свой коммутационный ресурс. Запасные части, которые подлежат замене при средних и расширенных текущих ремонтах сейчас практически не выпускают. На современном рынке представлены лишь аналоги.

Замену масляных выключателей можно произвести выключателями, в которых дугогасящей средой служат элегаз и вакуум. Достоинство такого оборудования заключается в том, что его габариты намного меньше, а обслуживание заключается только в наблюдении за их работой. Кроме того, новые выключатели не требуют текущих ремонтов. Таким образом, эксплуатационные затраты снижаются в несколько раз.

Регистраторы срабатывания разрядников требуют постоянного контроля со стороны оперативного персонала. При перегорании всех плавких вставок требуется вывод разрядника в ремонт, а значит, основное оборудование тоже должно быть выведено. Данную проблему можно решить заменой разрядников ограничителями перенапряжения, не требующих обслуживания, достаточно вовремя проводить осмотры.

Измерительные трансформаторы, не удовлетворяют требованиям по классу точности. Современные измерительные трансформаторы выпускаются в герметичном исполнении, это позволяет решить проблему с обслуживанием воздухоосушительных фильтров и постоянно загрязняющихся масломерных стекол.

Библиографический список

1. **Рожкова Л.Д.,** Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. 3-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2007. – 648 с.

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

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА ТРАНСФОРМАТОРА НА КАЧЕСТВО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Идеальная форма напряжения обуславливается соответствием синусоидальному характеру изменения. Обязательным элементом системы электропитания является трансформатор, принцип действия которого основан на использовании электромагнитных явлений. Одна из особенностей работы трансформатора – магнитный гистерезис в магнитопроводе, ведущий к отклонению формы сигнала на выходе трансформатора от формы сигнала на входе. Оценка влияния трансформатора на качество переменного тока проводилась исходя из предположения, что на входе имеется сигнал идеальной формы, а сам трансформатор работает в режиме холостого хода [1].

На рис. 1а показан характер изменения сигнала на входе и выходе трансформатора, на рис. 1б – петля гистерезиса для режима холостого хода. На рис. 2 показаны спектрограммы входного (б) и выходного (а) сигнала и разница между ними (с).

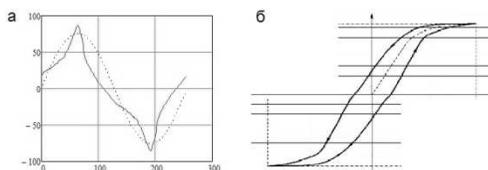


Рис. 1. Исходная информация для анализа

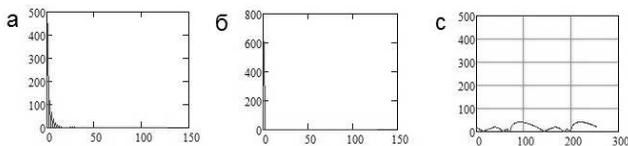


Рис. 2. Результаты анализа

Оценка расхождений между гармоническим сигналом и сигналом, искаженным магнитным гистерезисом, проводилась с помощью дискретного преобразования Фурье, реализованного в пакете MathCad.

Библиографический список

1. **Иванов И.И.**, Соловьев Г.Н., Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники – СПб: Лань, 2012.

*А.О. Титова;
М.Ф. Садыков, к.ф.-м.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

СОВМЕЩЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В современном мире интерес к альтернативной энергетике, несомненно, возрастает. Исходя из отчетов о доле потребления энергии от альтернативных источников ведущих стран, можно сделать вывод о том, что в ближайшее время данная область энергетики продолжит развиваться. Если рассматривать перспективу альтернативной энергетики в России, то несложно заметить, что она является скорее исключением, чем правилом. Такое положение дел объясняется неблагоприятными погодными условиями, которые не позволяют произвести полный отказ от традиционных источников энергии в пользу альтернативных. В таких случаях используют распределенные сети, которые способны независимо как потреблять, так и отдавать излишки энергии в сеть. Поэтому становится актуальной задача создания инфраструктуры для распределенной энергетики, которая подразумевает создание недорогих устройств для конечных потребителей, желающих использовать альтернативные источники энергии. При этом потребитель не отключается от общей сети электроснабжения. Развитие подобных решений тормозится дороговизной начального комплекта подобного оборудования для потребителя.

Основной идеей для исследования является произвести разработку системы способной совместить в себе функцию питания от источников альтернативной энергии, не приводя к отключению от традиционной электрической сети. Так же немаловажный фактор, это цена, она должна быть доступной.

Рынок в данное время может предложить, устройства со схожим функционалом. Однако во всех системах существует так называемое звено постоянного тока, которое, несомненно, понижает КПД системы. Так же эти системы имеют слабое звено в виде аккумуляторных батарей, цена этих элементов существенно влияет на общую стоимость системы. Дороговизна использования литий-ионных аккумуляторных батарей, в том, что батарея требует особого режима зарядки, мониторинга токов зарядки и готовности элементов принять его, для этого используются специальные контроллеры заряда аккумуляторов.

А.Т. Зайнетдинов, студ.;
рук. О.В. Воркунов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Под мониторингом ВЛ понимается специально организованное, систематическое наблюдение в реальном масштабе времени за состоянием ВЛ, с целью их оценки, контроля и прогнозирования. Существует различные виды мониторинга: беспилотные авиационные, спутниковые. Применении таких технологий позволить сетевым компаниям уменьшит их эксплуатационные затраты и повысит надежность.

Спутниковый мониторинг – наблюдение поверхности земли с борта космических летательных аппаратов, оснащённых различной аппаратурой, регистрирующей электромагнитное излучение от объектов.

Спутниковый мониторинг не может дать исчерпывающей информации о техническом состоянии ВЛ, так как многие элементы ЛЭП не отображаются на спутниковых снимках в силу ограничения разрешения снимков. Тем не менее, данные полученные с помощью такого обследования, могут быть полезны при эксплуатации ВЛ.

В первую очередь это данные о состоянии растительности в охранной зоне ВЛ (наличие деревьев в охранной зоне, соответствие ширины просеки трассы ВЛ нормативам, контроль работ по расчистке просек). Могут быть определены пересекаемые объекты в пролетах ВЛ, в том числе и ВЛ различных классов напряжения, здания и сооружения, расположенные в охранной зоне ВЛ. Также с помощью спутниковых снимков могут быть определены местоположения опор и, как результат, могут быть вычислены или уточнены длины пролетов. Кроме того, результаты спутникового мониторинга могут быть использованы в целях управления имущественно-земельным комплексом электросетевой компании, при работе с землеустроителями и т.д.

Библиографический список

1. **Панасенко М.В.** Системы мониторинга воздушных линий электропередачи. – 2013.

М.А. Савиных;
рук. Ю.А. Пасынков, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Современные электронные счетчики, в отличие от устаревших индукционных, имеют множество функций, в том числе не связанных непо-

средственно с измерениями. Производство таких счетчиков состоит из множества этапов, на каждом из которых контролируются параметры работы и функции счетчика. Использование технологических стендов, полностью управляемых оператором, малопродуктивно и есть риск ошибок контроля, связанных с человеческим фактором.

Разработан автоматизированный стенд контроля функционирования счетчиков. На нем проверяется работа источников питания, датчиков, реле, функции измерения, интерфейсов связи. Управляется стенд программой, написанной в среде LabVIEW, которая последовательно запускает все тесты и принимает решение о соответствии работы счетчика установленным нормам. Результаты сохраняются в базу данных.

Для автоматической коммутации цепей (переключения токов, напряжений, измерительных каналов) используется модуль дискретного ввода-вывода [1], который управляется программно с компьютера.

Интерфейсы счетчика проверяются с помощью конверторов интерфейсов, которые подключаются к компьютеру по USB. Кроме конверторов к компьютеру подключаются управляющий и измерительный модули, также по USB. Для предотвращения сбоев этих устройств разработан USB-концентратор с защитой от импульсных помех [2], который установлен внутри стенда.

Разработанный стенд проверки функционирования счетчиков автоматизирован и требует от оператора установки счетчика на контактирующее устройство и запуск программы. Риск ошибок контроля, связанных с человеческим фактором, практически отсутствует, а время проверки составляет порядка 2 минут, что примерно вдвое быстрее проверки на аналогичной неавтоматизированном стенде.

Библиографический список

1. Савиных М.А. Модуль дискретного ввода-вывода // Сборник материалов конференции ИКИ-2015. Раздел 5. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 119 – 123.
2. Савиных М.А. Технологический USB-концентратор // Приборы. – 2016. – № 8 (194). – С. 39 – 42.

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

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА ВАКУУМНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Для повышения качества слитков в вакуумных дуговых печах необходимо поддерживать постоянное давление в области дуги 0,01 – 0,001 Па.

Надёжная герметизация штока при вытягивании слитка обеспечивается магнитожидкостным герметизатором (МЖГ) модульного типа.

Для плоско-меридианного поля в средах FEMM и ELCUT был проведен расчет МЖГ для штока диаметром $d = 40$ мм. В ходе проектного расчета определены основные геометрические размеры зубцовой зоны МЖГ при величине рабочего зазора $\delta = 0.2$ мм. При этом величина шага зубца $b = 3$ мм; величина площадки при основании зубца $t = 0,3$ мм; число зубцов на полюсной приставке $N = 4$. Зубцы выполнены в виде прямоугольной трапеции с углом при основании $\alpha = 45^\circ$.

В МЖГ использованы магниты из сплавов самарий-кобальт марки КС37 с величиной остаточной индукции $B_r = 0,77$ Тл и коэрцитивной силой $H_c = 540$ кА/м в количестве 12 штук. Исследование распределения магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ проводилось для магнитов имеющих следующие размеры: П15х12х3, П15х12х5, П15х12х6. В качестве материалов магнитопровода рассматривались: Сталь 10 с индукцией магнитного насыщения $B_s = 2,11$ Тл и Сталь 20Х13 с индукцией магнитного насыщения $B_s = 1,78$ Тл при напряженности магнитного поля $H_c = 50$ кА/м.

Анализ результатов расчёта показал, что при использовании стали 10 в качестве материала магнитопровода критический перепад давлений МЖГ выше, чем при использовании стали 20Х13 на 9 – 12 %.

Разница в расчётных значениях перепада магнитных индукций под зубцами МЖГ полученная в средах FEMM и ELCUT составил 2,4 – 5,4 % (табл. 1).

Таблица 1. Влияние размеров магнитов на перепад магнитной индукции под зубцом МЖГ

Марка стали магнитопровода	Размеры магнита, мм					
	15x12x3		15x12x5		15x12x6	
	FEMM	ELCUT	FEMM	ELCUT	FEMM	ELCUT
20Х13	1,01537	0,9992	1,0978	1,0487	1,1101	1,0555
Сталь 10	1,1188	1,1007	1,2271	1,1915	1,2397	1,2068

М.И. Савинова, студ.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ВВОДОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Для повышения надёжности работы вращающихся вводов вакуумной камеры предлагается использовать магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ). Их применение полностью исключает утечки герметизируемой среды, что не требует постоянной работы насосов откачной системы.

В работе проведен численный анализ МЖГ для установок электроннолучевой сварки, основные эксплуатационные параметры которых приведены в таблице. Установки работают при вакууме 0,0133 Па. Все расчёты проведены в среде FEMM.

МЖГ рассчитывались с учетом коэффициента запаса по перепаду давлений, равным 1,5. Величина максимальной индукции под зубцом не превышала 1,2 Тл. Повышение максимальной индукции под зубцом приводит к более интенсивному расслоению магнитной жидкости (МЖ) в рабочем зазоре, изменению эксплуатационных параметров, снижению ресурса работы герметизатора.

Для МЖГ электротехнологических установок используется МЖ на кремний-органической основе марки С1-20В с величиной намагниченности насыщения $M_{SO} = 20$ кА/м.

В результате численных исследований, проведенных в среде FEMM найдено необходимое количество магнитов для каждого диаметра герметизируемого ввода. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Геометрические параметры электроннолучевых установок

Установки	Объем камеры, м ³	Диаметр ввода, мм	МП, LxVxh, мм	Количество магнитов, шт.
АЭЛТК-114	2,4	10	8x6x10	3
АЭЛТК -20	20	30	8x5x5	6
АЭЛТК -17	17	20	8x6x10	4
АЭЛТК -12	12	20	8x6x10	4
АЭЛТК -60/15-3,5	3,5	10	8x6x10	3

Библиографический список

1. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб.: Изд-во «Лань», 2017. – 136 с.

Е.С. Шишкина, студ.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ

Магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ) обеспечивают высокую степень герметичности подвижных и разъёмных соединений, что объясняет их широкое применение в технологическом оборудовании [1].

К элементам магнитной цепи МЖГ относятся: постоянный магнит, магнитопровод и магнитная жидкость (МЖ), которая находится в рабочем зазоре. Для удержания МЖ в рабочем зазоре на одной, или на обеих, обращённых друг к другу поверхностях магнитопровода выполнены концентраторы магнитного поля в форме прямоугольных или равнобедренных трапеций. В рабочем зазоре под каждым концентратором образуется магнитожидкостное кольцо, которое удерживает определённый перепад давлений.

Однако под действием градиента магнитной индукции происходит расслоение МЖ, что приводит к изменению её физико-химических свойств и, как следствие, эксплуатационных характеристик МЖГ. Это может привести к нарушению работы оборудования, в которое входит МЖГ.

Для повышения стабильности эксплуатационных характеристик МЖГ предлагается ввести шунтирующие элементы в его магнитную цепь. Это могут быть магнитопроводные винты, кольца или подвижная часть магнитопровода. С их помощью можно регулировать значение магнитной индукции в рабочем зазоре герметизатора. В зависимости от величины перепада давлений и технологического регламента работы оборудования производится настройка градиента магнитной индукции.

Это позволяет при необходимости понизить его значение и, как следствие, чрезмерное расслоение МЖ под действием градиента магнитной индукции. Кроме того, путём регулирования градиента магнитной индукции в рабочем зазоре герметизатора можно производить настройку серии МЖГ на требуемые условия эксплуатации.

Библиографический список

1. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб.: Изд-во «Лань», 2017. – 136 с.

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

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ

Для оценки вибрационного состояния машин в течение всего периода их работы применяются различные типы датчиков вибрации. Выбор типа датчика зависит от частотного диапазона, в котором осуществляется измерение вибраций. Для низких частот применяются датчики виброперемещений, для средних частот – датчики виброскорости, а для высоких частот – датчики виброускорений.

Изменения вибрационного состояния машины может быть вызвано следующими причинами: дисбалансом вращающихся деталей, износом подшипников качения и скольжения, переходными режимами, возникающими во время работы, естественным износом сопрягаемых деталей и ослаблением механических соединений.

Для измерения и диагностики вибраций в основном применяют электромагнитные и индуктивные датчики. Их недостаток связан с величиной постоянной времени переходного процесса. Этого недостатка лишены магнитожидкостные датчики с чувствительным элементом на постоянных магнитах.

Предложена конструкция магнитожидкостного датчика вибрации (МЖДВ), которая состоит из немагнитопроводного корпуса, установленного вертикально. На внешней поверхности корпуса расположена измерительная обмотка. Она подключается к микропроцессорной системе диагностики. В качестве чувствительного элемента датчика используется постоянный магнит с магнитопроводом. В крышке корпуса также установлен магнит. Оба магнита расположены по отношению друг к другу одноименными полюсами и взаимодействуют между собой по принципу «магнитной пружины».

Проведены экспериментальные исследования по определению силы взаимодействия между магнитами магнитной пружины. Получены эксплуатационные зависимости МЖДВ для различных радиальных размеров кольцевых постоянных магнитов.

Информация, получаемая в процессе вибрационного контроля, используется для: защиты оборудования, повышения безопасности обслуживающего персонала, повышения качества технического обслуживания машин, обнаружения дефектов на ранней стадии их появления и предотвращения опасных поломок машин.

СЕКЦИЯ 17

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

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

Секретарь – ассистент **Ушакова Н.В.**

К.В. Никулин, студ.;
рук. А.А. Жданович, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)

СВАЛОЧНЫЙ ГАЗ: МАЛАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной статье рассмотрены принципы электрогенерации на основе биогаза, выделяемого телом полигона ТКО. Целью является оценка возможности установки электростанции на возобновляемом источнике энергии – биогазе. Задачи: исследование принципов получения газа из тела полигона, определение качества газа и возможности его использования, расчет технических параметров электростанции и способы подключения к системе.

Актуальность темы обусловлена тем, что в данный момент времени в мире имеется большое количество полигонов ТКО, которые имеют значительный энергетический потенциал за счет генерации биогаза. При отсутствии препятствий свалочный газ (СГ), состоящий примерно на 50 % из метана, рассеивается в атмосферу. Метан способствует парниковому эффекту и создает угрозу для здоровья и безопасности в силу резкого запаха и взрывоопасности. В мировой практике для решения данных проблем используются два варианта: сжигание газа на факельной установке и использование СГ для электрогенерации [1].

В Новосибирской области планируется реализация электростанции на полигоне ТКО в п. Пашино. Предметом исследования является изучение возможности электрогенерации, используя ресурс полигона.

Полигон в поселке Пашино занимает 8 га и функционирует более 10 лет, содержание метана не менее 30 – 50 %, перспективная мощность станции – 1 МВт. В работе исследуется целесообразность установки газопоршневых или газотурбинных агрегатов для обеспечения установленной мощности с учетом качества СГ и стабильности его подачи, решается вопрос о необходимости установки очистных сооружений. Также дается оценка времени выделения газа, которое в среднем длится около 30 лет [2], что больше срока окупаемости в два раза учитывая постановление Правительства РФ № 47 от 23.01.2015.

Библиографический список

1. **Гурвич В.И.**, Лифшиц А.Б. Добыча и утилизация свалочного газа – самостоятельная отрасль мировой индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/340.html>.
2. **Василенко Е.А.**, Коровяка Е.А. Регенерация метана, выделяемого мусорными свалками, и возможности его утилизации // Проблемы недропользования. – 2014. – № 1. – С. 77 – 82.

*Д.О. Постникова, курсант;
рук. К.В. Семенова, к.т.н.
(Ивановская пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Полезные ископаемые – уголь, нефть и природный газ, являются главными источником энергии во всем мире. Они образовались из остатков растений и животных в течение миллионов лет. Все ископаемые виды топлива, по существу, не возобновляемые источники энергии. Ископаемые виды топлива (за исключением природного газа) при сжигании образуют гигантское количество различных отходов, загрязняющих среду обитания.

Всё большую популярность в мире приобретают альтернативные источники энергии. Их преимущество заключается в возобновимости энергетических ресурсов. К таким источникам относятся энергия солнца, ветра, приливов. Главным недостатком нетрадиционной энергетики, использующей энергию природных явлений, является непостоянство этих природных явлений. Ветер может в любой момент стихнуть, солнце закрыться тучами, высота приливов уменьшиться, а геотермальные источники иссякнуть.

Плазменная газификация – это новая технология, она используется в Японии, Индии, Англии, Китае, США. Возможности данной технологии уникальны, она позволяет смешивать разнородные отходы без предварительной обработки. Конечный продукт может быть разным, например, электроэнергия, пар, жидкое топливо. Процесс происходит в плазмохимическом реакторе, где температура достигает 1200 – 1500 °С. Низкотемпературная плазма разлагает исходный материал на молекулы и атомы. На выходе получается синтез-газ – смесь водорода и СО. Его можно использовать в паровой турбине, соединенной с генератором. Механическая энергия вращения преобразуется генератором в электрическую энергию [1, 2].

Нахождение возобновляемых альтернатив является ключом к энергетическому будущему мира.

Библиографический список

1. **Birsan Nicolae** Plasma gasification – the waste-to-energy solution for the future// Probleme energeticii regionale. – 2014. – № 3 (26). – P. 107 – 115.
2. **Беляев С.В., Семенова К.В.** Плазменная газификация как новый способ получения электрической энергии //Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: материалы Дней науки (22 – 26 мая 2017 г.) в 2-х ч. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России. – 2017. – Ч. 1. – С. 40 – 42.

И.В. Россов, студ.;
рук. А.А. Жданович, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕНОСА ПРОИЗВОДСТВ В РЕГИОНЫ С ПОВЫШЕННОЙ ИНСОЛЯЦИЕЙ

Солнечные станции (СЭС) не используют ископаемые ресурсы, т.е. они экологичны. Также стоимость ФЭП на 2013 год (фотоэлектрические панели) снизилась на 99 % с 1970 года [1].

Целью работы является анализ целесообразности переноса производств в регионы с повышенной инсоляцией, в регионы, где электрообеспечение производств будет осуществляться с помощью СЭС.

В данной работе мы рассмотрим следующие виды промышленности: машиностроение, металлообработка, лесная и другие.

На примере предприятий Новосибирска проанализируем возможность переноса. Для этого требуется разработать ряд критериев, определяющих готовность предприятий к транспортировке. Одним из ключевых критериев является потребляемая мощность производств. Чтобы выбрать наилучший вариант расположения промышленного объекта, нужно рассчитать потенциальную мощность СЭС в регионах с высокой инсоляцией. Величина потенциальной мощности СЭС будет зависеть от географии. Необходимо соотнести потребляемую и производимую мощности и оценить возможность переноса [рис. 1].

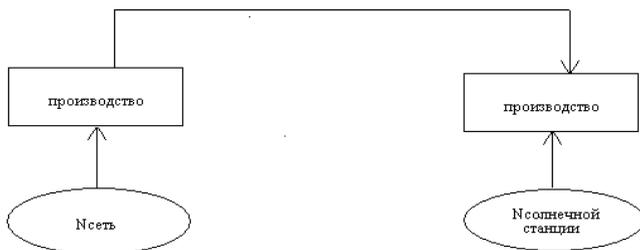


Рис. 1. Принцип переноса производств в регионы с высокой инсоляцией

Библиографический список

1. **Bloomberg** New Energy Finance. 2017. URL: <https://leisureguy.wordpress.com/2013/10/06/check-out-the-price-trend-on-solar-cells-down-99-since-1970/> (дата обращения: 27.12.2017).
2. **Удалов С.Н.** Возобновляемые источники энергии: учебник / С.Н. Удалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 432 с.

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

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РФ

В настоящее время электроэнергетика является одной из ключевых отраслей экономики Российской Федерации. Ее эффективное функционирование определяет уровень обеспеченности электрической энергией отечественной промышленности и населения. От устойчивого развития электроэнергетического комплекса России, включающего такие компоненты, как генерация электроэнергии, передача и транспортировка электрической энергии, сбыт энергетических ресурсов, зависит энергетическая безопасность государства и его экономическое развитие в стратегической перспективе.

В работе показано, что важнейшей проблемой развития отрасли является обеспечение надежности и безопасности работы системы электроснабжения России в нормальных и чрезвычайных ситуациях, замена выходящих мощностей оборудованием с современными технологиями и строительством новых мощностей. Это связано с инвестиционно-инновационным обновлением отрасли направленным на обеспечение высокой энергетической, экономической и экологической эффективности производства, транспорта, распределения и использования электроэнергии, а также благодаря совершенствованию нормативно-правовой базы.

Проблемы электроэнергетики РФ можно объединить в две группы: на технологическую и институциональную [1].

Технологические проблемы:

-проблемы износа и технологического отставания структурных составляющих отрасли;

- проблемы сетевого комплекса;

Институциональные проблемы:

- проблемы рынка электроэнергии и мощности;

-проблемы цен и тарифов на электроэнергию;

-проблемы реформирования отрасли;

В ходе аналитической работы рассмотрены показатели развития электроэнергетики в период с 2012 – 2016 год. Показаны сильные и слабые стороны электроэнергетики России.

Библиографический список

1. **Жуков В.С.** Перспективы развития энергетического машиностроения в России (на примере производителей основного оборудования для ТЭС и ГЭС) // Инновационное развитие и экономический рост: Материалы V Международной конференции. – Москва, РУДН, 3 ноября 2011 г. – М.: Изд-во РУДН, 2011.

СЕКЦИЯ 18

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

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

Секретарь – ассистент Ушакова Н.В.

*А.Ф. Андреев, магистрант;
рук. Ю.В. Бладыко, к.т.н., доц.
(БНТУ, г. Минск)*

РАСЧЕТ СТАТИКИ ПРОВОДОВ С УЧЕТОМ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ

Задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий является определение стрел провеса и тяжений в различных режимах климатических воздействий [1]. На практике провод с равномерно распределенной нагрузкой рассматривается как однородная гибкая нить, имеющая очертание параболы. Сосредоточенные нагрузки от распорок, заградительных шаров, шлейфов, отпаек к электрическим аппаратам и других элементов заменяются распределенной по пролету. Стрела провеса для эквивалентного провода определяется с помощью коэффициента увеличения стрелы провеса, обусловленного наличием сосредоточенных сил. Максимальная стрела провеса зависит от числа сосредоточенных сил:

$$f_0(n) = \frac{q \cdot l^2 \cdot K_f(n)}{8 \cdot H},$$

где l – длина пролета;

H – тяжение в проводе (горизонтальная составляющая);

q – погонный вес провода;

$K_f(n)$ – коэффициент увеличения стрелы провеса, обусловленный наличием n сосредоточенных сил:

$$K_f(n) = 1 + K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right),$$

где $K_p = P / Q$ – коэффициент сосредоточенных сил;

P – суммарный вес всех сосредоточенных нагрузок;

$Q = ql$ – вес провода в пролете без учета провиса;

n – число сосредоточенных сил, равномерно расположенных по длине пролета.

Погрешность в расчете стрел провеса при замене сосредоточенной нагрузки распределенной зависит от коэффициента сосредоточенных сил K_p и их числа n , может достигать 32 % для распределительных устройств. Такая замена возможна лишь при числе $n > 10$.

Библиографический список

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И., Бладыко Ю.В. Численный метод расчета статики гибкой ошенировки ОРУ в различных режимах климатических воздействий // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1983. – № 8. – С. 8 – 14.

А.Д. Чеботарёв, студ.;
рук. М.Ш. Гарифуллин, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Силовой трансформатор является важнейшим элементом систем электроснабжения. Продление его срока службы всегда было актуальной задачей науки и практики.

Проанализировав существующие методы диагностики и испытаний силовых трансформаторов можно заявить, что они все так же необходимы и являются основой бесперебойной работы трансформаторов, однако, они зачастую не позволяют обнаружить дефекты на ранних стадиях его возникновения.

Электросетевые организации все более широко внедряют в практику разнообразные системы мониторинга. Однако, как следует из анализа повреждаемости оборудования снабженных данными системами мониторинга и тех, в которых не применяется данная технология, оборудование выходит из строя практически одинаково. Повысить эффективность раннего обнаружения развивающихся дефектов систем диагностики возможно точно определив дефект оборудования, который привел к тому или иному повреждению. Без решения данной задачи невозможно исключить повторного возникновения повреждения [1].

В настоящее время специалистами по диагностике активно проводятся работы по исследованию эффективности применения искусственных нейронных сетей (далее ИНС) в системах диагностики. Промышленное применение данной технологии требует решения достаточно сложных задач, связанных с разработкой методики определения эффективной архитектуры ИНС, определения эффективного алгоритма обучения ИНС решению задачи классификации.

Библиографический список

1. **Костюков А.В.**, Нейросетевая система прогнозирования остаточного ресурса силовых трансформаторов тяговых подстанций ОАО «РЖД» В.Б. Лиля, А.В. Костюков // Вестник РГУПС. – 2013. – № 3.

Н.В. Леонов, студ.;
рук. Г.Ч. Чо, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ОТ ГЕНЕРАТОРОВ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В РФ к 2024 году планируется ввести в эксплуатацию 3,35 ГВт генерирующей мощности ВЭС [1]. Однако нормативно-техническая база про-

ектирования ВЭС недостаточно проработана, что может отрицательно сказаться на качестве проектных решений. В частности, токи короткого замыкания от ветрогенераторов (ВГ) невозможно рассчитать по действующей методике [2]. Актуальным представляется исследование параметров токов короткого замыкания от ВГ для разработки рекомендаций по расчету КЗ.

В соответствии [3] различают 4 типа ВЭУ. Среди них асинхронные машины с роторной обмоткой типа «беличья клетка» (тип 1) или фазным ротором (тип 2, 3 и 4) и синхронные машины (тип 4). У типов 1, 2 и 3 статорную обмотку генератора подключают к внешней сети напрямую. Тип 4 предполагает подключение генератора через преобразователь частоты.

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ от ВЭУ типа 1 близко к пусковому току асинхронной машины. Наличие дополнительного регулируемого резистора в обмотке ротора у ВЭУ типа 2, соизмеримого с сопротивлением обмотки ротора, приводит к снижению постоянной времени затухания периодической составляющей тока КЗ до двух раз. В остальном параметры тока КЗ аналогичны типу 1. ВЭУ типов 1 и 2 дают наибольшую кратность тока КЗ в сети. Генератор с двойным питанием ВЭУ типа 3 имеет шунтирующее сопротивление, значительно превышающее сопротивление обмотки ротора, параллельно к которой оно подключено. Периодическая составляющая тока КЗ затухает гораздо быстрее, чем аperiodическая составляющая, что может осложнить процесс отключения тока КЗ. Наличие преобразователя частоты в ВЭУ типа 4 приводит к ограничению тока КЗ во внешней цепи до 1,1 номинального тока преобразователя. Параметры токов КЗ от ветрогенераторов ВЭУ типов 2 – 4 имеют существенные отличия от синхронных генераторов ЭС других типов, поэтому для них требуется разработка нормативной методики по расчету КЗ.

Библиографический список

1. **Гзенгер Ш.**, Денисов Р. Перспективы ветроэнергетического рынка в России. – 2017.
2. **ГОСТ 28249-93** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
3. **Hansen A.D.**, Iov F., Blaabjerg F., Hansen L.H. Review of Contemporary WT Concepts and 2029 their Market Penetration // Wind Engineering. – 2004. – Vol. 28. – Issue 3. – Pp. 247–263.

*М.Ф. Низамиев, преп.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Контроль технического состояния силовых трансформаторов является одним из наиболее эффективных методов повышения надёжности работы

электрических подстанций. Вибрационный метод контроля технического состояния позволяет с высокой точностью определять параметры вибрации, выявлять отличительные признаки в колебаниях оборудования трансформаторов, связанных с неудовлетворительным состоянием пресовки обмоток и магнитопроводов и дефектов подшипников маслонасосов. Недостатками большинства методов вибрационного контроля являются использование в качестве измерительного оборудования контактных датчиков вибрации и необходимость отключения трансформаторов, что ограничивает оперативность и эффективность диагностики.

Для решения представленной задачи разработан и создан измерительно-диагностический комплекс (ИДК) со специализированным программным обеспечением.

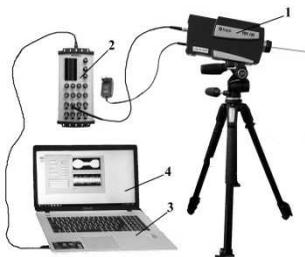


Рис. 1. Схема ИДК: 1 – лазерный доплеровский виброметр; 2 – многофункциональный модуль ввода-вывода; 3 – персональный компьютер; 4 – программное обеспечение

ИДК позволяет бесконтактно и оперативно контролировать техническое состояние работающих трансформаторов без вывода его из эксплуатации.

Библиографический список

1. Низамиев М.Ф., Ившин И.В., Владимиров О.В., Ваньков Ю.В. 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. – 2014. – №3 – 4. – С. 108 – 113.

А.Ю. Преймак, студ.;
рук. В.М. Левин, д.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)

О ВЛИЯНИИ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Долговечность – одно из свойств надежности, характеризующее способность оборудования системы электроснабжения (СЭС) выполнять

требуемые функции в заданных режимах и условиях применения до достижения предельного состояния, в котором его эксплуатация недопустима, а восстановление работоспособности не целесообразно.

Условия эксплуатации оборудования СЭС различаются количеством, интенсивностью и продолжительностью влияния на него вредных факторов, среди которых особую роль играют искажения кривой напряжения. К источникам этих искажений в СЭС относится нагрузка с нелинейными вольтамперными характеристиками, например, частотные преобразователи, газоразрядные лампы и пр. Искажения кривой напряжения в СЭС порождают протекание высших гармоник (ВГ) токов с частотами, кратными основной частоте 50 Гц. Соотношения реактансов элементов СЭС на отдельных частотах значительно выделяет амплитуды ВГ и делает их соизмеримыми с амплитудой тока основной частоты. Негативное влияние ВГ токов на долговечность оборудования проявляется в виде перегревов выше допустимых значений температур, что особенно пагубно для изоляции и уменьшает ее срок службы. В связи с этим оборудование, эксплуатируемое в условиях искажений кривой напряжения, не вырабатывает свой расчетный срок службы по причине ускоренного термического старения, а предприятие несет экономические потери (ущерб). Аналитический обзор убеждает, что аспект долговечности оборудования 0,4 – 10 кВ СЭС в условиях искажений кривой напряжения изучен не достаточно. В связи с этим необходимо дополнительное исследование, задачи которого:

1. Количественная оценка негативного влияния уровня искажения кривой напряжения в СЭС на долговечность (технический ресурс, срок службы) ее элементов.
2. Ранжирование источников искажения кривой напряжения в СЭС по интенсивности их влияния на долговечность оборудования.
3. Проверка безопасности предельных норм искажения напряжения (ГОСТ 32144-2013) для длительной эксплуатации оборудования СЭС.

Нгуен Тиен, асп.;
рук. К.Х. Гильфанов, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТРАНСФОРМАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS MAXWELL

При работе трансформаторов возникают потери энергии, превращающиеся в конечном счете в теплоту. Теплота повышает температуру

обмоток, магнитопровода, контактных соединений, конструктивных деталей и одновременно рассеивается в окружающую среду. Нагрев ограничивает мощность и приводит к старению изоляции. Теоретическое обобщение процессов теплового распределения с учетом динамического движения масла в трансформаторах и диагностика ресурса трансформатор является актуальной задачей.

В данной работе для моделирования используется программный пакет AnsysMaxwell. Это мощная интерактивная среда для моделирования и расчетов большинства научных и инженерных задач основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных методом конечных элементов. AnsysMaxwell позволяет решать как прикладные, так и сопряженные задачи. Работа в среде AnsysMaxwell не требует глубокого знания математической физики и метода конечных элементов.

Полная трёхмерная компьютерная модель нелинейной термогидравлической системы, как трансформатор с масляным охлаждением включает в себя геометрическое моделирование с детальной структурой всех трёх фаз, магнитопровода и рабочих обмоток. Такая модель обеспечивает получение основных интегральных характеристик тепловыделяющей системы и температуры на генерирующих тепло поверхностях.

Для моделирования на уровне макромодели обмотка представлена эквивалентным сплошным твёрдым телом без отдельного рассмотрения конвекции в межвитковых горизонтальных каналах и детальной структуры катушек с изоляцией и прокладками. Задачей моделирования является описание и общий расчёт теплогидравлических процессов трансформатора с учётом всех тепловыделений трансформатора.

В среде AnsysMaxwell созданы компьютерные модели трансформатора без дефектов и с повреждениями. Определены 3D- и 2D- температурные поля трансформатора в нестационарном режиме. Показаны наиболее нагретые части трансформатора в зависимости от времени работы. Интерактивная модель является весьма удобным и перспективным способом мониторинга и диагностики силового электрооборудования, что позволяет прогнозировать и продлевать его ресурс.

Библиографический список

1. **Теплопередача:** учеб. для вузов / Исаченко В.П. [и др.]. –М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
2. **Сегерлинд Л.** Применение метода конечных элементов.– М.: Мир, 1979. – 392 с.
3. **Применение ЭВМ для решения задач теплообмена:** учеб. пособие для теплофизич. и теплоэнергетич. спец. вузов / Дульнев [и др.]. – М.: Высш. шк., 1990. – 207 с.

А.С. Гончаров, студ.;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ СТАТОРНЫМИ ОБМОТКАМИ ПРИ РАСЧЕТАХ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ШЕСТИФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА

Генераторы ТЗВ-1200-2У3 и ТВВ-1200-2 обладают рядом особенностей отличающих их от генераторов меньшей мощности. Главным отличием является наличие двух статорных обмоток сдвинутых относительно друг друга на 30 электрических градусов.

Данная особенность обуславливает появление магнитной связи между обмотками, а этот факт влияет на запись основных уравнений генератора – уравнения переходных процессов синхронной машины в осях d и q. Решение системы уравнений Парка–Горева позволяет найти сверхпереходные параметры генератора необходимые для расчета токов короткого замыкания:

1. Сверхпереходное сопротивление «обычного» генератора (без учета магнитной связи между обмотками):

$$x_{d1}'' = x_{\sigma 1} + x_{\sigma 11} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{x_{ad}} + \frac{1}{x_{fd}} + \frac{1}{x_{kd}}}$$

2. Сверхпереходное сопротивление шестифазного генератора:

$$x_{d1}'' = x_{\sigma 1} + x_{\sigma 11} + \frac{x_{\sigma 1} + x_{\sigma 11} - x_{\sigma 12}}{x_{\sigma 2} + x_{\sigma 11} - x_{\sigma 12}} x_{\sigma 12} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{x_{\sigma 1} + x_{\sigma 11} - x_{\sigma 12}}{x_{\sigma 2} + x_{\sigma 11} - x_{\sigma 12}} \right) \frac{1}{\frac{1}{x_{ad}} + \frac{1}{x_{fd}} + \frac{1}{x_{kd}}}$$

Наименование сопротивлений указано в [1].

В результате установлено, что при расчетах трехфазного короткого замыкания на зажимах одной из обмоток генератора токи отличаются более чем на 20 %, а сопротивления по формулам 1 и 2 имеют разницу 22 %. Наличие взаимоиндукции между двумя обмотками оказывает существенное влияние на расчеты.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
2. Хуторецкий Г.М., Воронов Г.Г. Шестифазные турбогенераторы // Электросила. – 1970. – № 28. – С. 33 – 40.
3. Гришин Н.В. Уравнение режимных задач шестифазных турбогенераторов предельной мощности. // НТВ СПбПУ. – 2016. – № 2 (243). – С. 16 – 23.

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

ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Солнечная электроэнергетика является одним из наиболее перспективных направлений в альтернативной электроэнергетике. Одной из наиболее важных проблем является уменьшение стоимости солнечных элементов (СЭ) и увеличение КПД. Все СЭ делятся на три поколения: 1) СЭ из кристаллического кремния (КПД 17 – 22 %); 2) тонкоплёночные СЭ (удешевлённое производство, но КПД 7 – 15 %); 3) СЭ третьего поколения, целью является значительное увеличение КПД (более 40 %) и уменьшение стоимости СЭ. Целью данной работы является анализ двух наиболее многообещающих технологий третьего поколения: 1) многопереходные солнечные элементы; 2) солнечные элементы на квантовых точках.

Очевидно, что потери в СЭ напрямую влияют на его КПД. Поэтому в работе приводятся подробное описание основных механизмов потерь в СЭ и теоретического предела КПД Шокли-Квайссера. Первая технология – многопереходные СЭ (МЭ). МЭ СЭ состоят из нескольких поглощающих слоев полупроводникового материала, имеющих различную ширину запрещённой зоны, что позволяет поглощать широкий спектр солнечного излучения, благодаря этой конструкции удалось добиться КПД в 46 %. В работе приведен ряд проблем в создании МЭ СЭ (подбор подходящих материалов и создание туннельного перехода) и способы их решения, а также экономический анализ МЭ СЭ. Вторая технология – СЭ на квантовых точках. Квантовые точки – это полупроводниковые наночастицы, уменьшены ниже размеров радиуса экситона-Бора, благодаря чему в них начинают проявляться квантово-механические свойства. Размер квантовых точек напрямую влияет на ширину запрещённой зоны материала. Данную технологию используют в МЭ СЭ и для увеличения квантовой эффективности (отношение сгенерированных пар электрон-дырка к количеству поглощённых фотонов) СЭ и использования энергии термализации.

Библиографический список

1. **Technology** Roadmap Solar Photovoltaic Energy 2014 Edition / IEA. – 2014. – 60 pages.
2. **Photovoltaic** Education Network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pveducation.org>, свободный.
3. **Soteris** A. Kalogirou Solar Energy Engineering / Soteris A. Kalogirou – ELSEVIER, 2014. – 819 pages.

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

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Применение энергосберегающих технологий в системах электроснабжения информационных систем становится всё более перспективным с развитием новых технологий. В то же время анализ существующих отечественных и зарубежных разработок в области энергосбережения показывает, что имеется ряд проблем, связанных с уменьшением уровня потребляемой энергии и снижением тепловыделения [1].

Увеличение показателя «производительность на ватт» активнее других пропагандирует корпорация Intel. При создании 45-нанометровых транзисторов ее специалисты воспользовались передовыми материалами, сочетание которых позволило добиться очень низких значений силы тока утечки и рекордно высокой производительности. Применение диэлектрика затвора на основе специального материала high-k и металлических электродов обеспечивает увеличение более чем на 20 % силы управляющего тока и соответствующее повышение производительности транзисторов [2].

На уровне готовых вычислительных систем эксперты считают наиболее перспективным для снижения энергозатрат внедрение серверов-лезвий (Blade серверов) — прежде всего, потому, что сама blade-архитектура разработана с учетом оптимизации энергопотребления [2].

Современные источники бесперебойного питания (ИБП) являются первичным звеном в системе гарантированного электроснабжения ИТ-систем. Один из основных факторов повышения эффективности ИБП — повышение входного коэффициента мощности. Для внешней электросети такие ИБП являются незначительной активной нагрузкой, при этом реактивная составляющая в потребляемом входном токе снижается, а эффективность использования энергоресурсов увеличивается [2].

Библиографический список

1. **Информационные** технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Информационные_технологии.
2. **ИТ** технологии в сфере энергосбережения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy.s-kon.ru/it-tehnologii-v-sfere-energoberezeniya-2/>.

*Е.М. Новоселов, соиск.,
Н.Н. Коновалов, студ.;
рук. И.Е. Веселова, к.т.н., доц.,
А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ «БЕЛИЧЬЕЙ КЛЕТКИ» ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ГАРМОНИКАМ ОТ ТОКОВ ФИКТИВНОЙ ОБМОТКИ РОТОРА

На асинхронных двигателях (АД), активно применяемых в энергетике, одним из повреждений является обрыв стержней обмотки ротора, что ведет к ухудшению их электрических характеристик и возрастанию потерь.

Обнаружение такого повреждения в процессе работы АД может быть основано на анализе внешнего магнитного поля (ВМП) АД. При обрыве стержня во ВМП появляются гармоники фиктивной обмотки ротора (ФОР) [1], которые могут служить диагностическим параметром обрыва стержня.

Проблемой данного метода является то, что динамический эксцентриситет (ДЭ) может быть причиной появления в частотном спектре ВМП АД гармоник ДЭ [2], причем их частоты совпадают с частотами ФОР. По результатам математического расчета была установлена зависимость (1)

$$\nu_{ДЭ} = \nu_{ФОР} - p, \quad (1)$$

где $\nu_{ДЭ}, \nu_{ФОР}$ – порядок гармоник ДЭ и ФОР соответственно; p – число пар полюсов электродвигателя.

Эксперименты, произведенные на двигателе АИР-71А6, показали что частоты ДЭ оказывают влияние на амплитуды гармоник ФОР, что осложняет диагностику. Однако из формулы (1) можно заметить, что гармоникам ФОР на нижней боковой частоте соответствуют гармоники ДЭ более высоких порядков с меньшей энергией. Соответственно можно сделать вывод, что в качестве диагностического параметра нужно рассматривать не весь спектр, а только нижние боковые частоты ФОР.

Библиографический список

1. **Скоробогатов, А.А.** Анализ спектра магнитного поля в зазоре асинхронного двигателя при повреждении обмотки ротора // Вестник ИГЭУ. – 2006. – № 2. – С. 75 – 78.
2. **Геллер, Б., Гамата, В.** Высшие гармоники в асинхронных машинах. – М.: Энергия, 1981. – 352 с.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И СПОСОБЫ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ

Солнечная энергетика представляет собой одно из перспективных направлений возобновляемой энергетики. Поэтому на данный момент в мире проблема эффективности солнечной энергетики является очень актуальной. Целью данной работы является рассмотрение путей решения проблемы эффективности солнечной энергетики.

Одна солнечная панель мощностью 100 – 200 Вт стоит 500 – 600 \$ [1]. Солнечные элементы дорогостоящие, но они себя оправдывают в большинстве случаев. На эффективность работы солнечных батарей оказывают влияние несколько факторов: температура, угол падения солнечных лучей, чистота поверхности, отсутствие тени, погода. Для повышения КПД солнечной энергетики необходимо: создание многослойных панелей, применение различных типов кремния, установка в некоторых моделях солнечных батарей системы слежения за солнцем. Главная задача исследователей – поиск путей повышения эффективности солнечных батарей. Ученые создают разработки, направленные на эффективность солнечной энергетики: светочувствительные наночастицы, арсенид галлия, разработка аккумуляторов солнечной энергетики и др. [2]. Также для повышения эффективности солнечной энергетики применяют перовскиты и используют гетероструктурные фотопреобразователи и солнечные элементы. Перовскиты являются редкими для поверхности Земли минералами, которые применяют в качестве основы для высокоэффективных, недорогих солнечных элементов. С помощью гетероструктурных фотопреобразователей и солнечных элементов была решена проблема энергообеспечения космических станций.

Библиографический список

1. **Сколько** стоит солнечная батарея для частного дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mfina.ru/skolko-stoit-solnechnaya-batareya-dlya-chastnogo-doma>.
2. **Солнечная** энергетика: отрасль на пороге бурного развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hvulya.net/analytics/tech/solnechnaya-energetika-otrasl-na-porogeburnogo-razvitiya.html>.

*А.Ю. Леонтьева, студ.;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА К ПРОИЗВОЛЬНОМУ МОМЕНТУ ВРЕМЕНИ

Если в режиме КЗ на зажимах генератора электростанции ток КЗ от генератора превосходит составляющую от «системы», то расчеты режима усложняются, так как периодическая составляющая тока КЗ от генератора (действующее значение) изменяется в течение времени.

Национальным стандартом [1] рекомендуется использование типовых расчетных кривых.

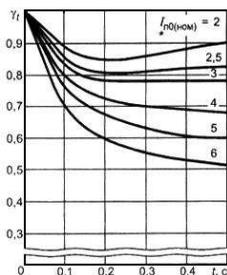


Рис. 1. Изменение периодической составляющей тока КЗ от генератора

На рис. 1 представлены расчетные кривые для генератора с тиристорной независимой системой возбуждения.

Семейство кривых построено в функции удаленности точки КЗ. Анализ расчетных кривых для генераторов с различными системами возбуждения показал явно выраженную тенденцию к затуханию периодического тока КЗ генератора в течение времени, особенно при близких КЗ, то есть при $I_{n0(ном)*} \geq 4$.

Работа посвящена использованию метода экспоненциальной регрессии для определения постоянных времени затухания периодической составляющей тока КЗ генераторов путем математической обработки расчетных кривых для генераторов с различными системами возбуждения. Это позволит в практических расчетах использовать простейшее выражение для определения периодической составляющей тока КЗ к произвольному моменту времени:

$$I_{it} = I_{n0} e^{-t/T_n}.$$

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Ростехрегулирование, 2007.

И.А. Луньков, студ.;
рук. Н.Б. Ильчев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
С УЧЕТОМ ТОКООГРАНИЧЕНИЯ**

Современные автоматические выключатели обеспечивают исключительный токоограничивающий эффект за счет быстрого естественного отталкивания контактов [1]. Способность выключателя к ограничению тока КЗ описывается характеристиками ограничения максимального мгновенного значения и ограниченной энергии, представленными в виде графиков [2]. Что не удобно для расчетов.

Целью данной работы является доказательство того, что выше указанные характеристики, можно заменить дополнительными параметрами время-токовой характеристики (ВТХ). В области токоограничения достаточно ввести участок зависимости времени отключения от тока, который в логарифмическом масштабе описывается в виде выражения $\ln T = \ln a + b \cdot \ln I$. I – ожидаемый ток КЗ. Данное утверждение позволит упростить работу с графиками, а так же позволит автоматизировать процесс расчета с помощью программного обеспечения (например, EnergyCS Электрика).

Ниже приведен алгоритм получения упрощенной зависимости на основе каталожных данных автоматического выключателя с расцепителем [2], на примере выключателя NSXCompact 100.

1. Расчет времени отключения выключателя в зависимости от ожидаемого тока КЗ;
2. Определение коэффициентов a и b ;
3. Получаем прямую вида: $\ln T = -1,4 - 0,47 \cdot \ln I$.

Характеристики представленные в каталоге [1] и полученные по дополненной ВТХ, практически совпали. Полученная математическая модель легко реализуется в программном обеспечении для расчета режимов EnergyCS Электрика [3].

Библиографический список

1. **Автоматические** выключатели Compact NS от 80 до 160 А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rantel.ru/novelties/page1141>.

2. **Каталог** продукции: Автоматические выключатели. Schneider Electric JSC, 2008.
3. **Ильчев Н.Б.**, Вермаховский А.Н. Новая функциональность EnergyCS Электрика / CADmaster. – 2014. – № 1. – 125 с.

*И.М. Луньков, студ., А.С. Страхов, асп.;
рук. Е.М. Новоселов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТКИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В статье [1] предложен способ определения обрывов стержней короткозамкнутой обмотки ротора (ОР) асинхронных электродвигателей (АД) по радиальной составляющей внешнего магнитного поля (ВМП). В качестве диагностического параметра (ДП) обрыва стержня предложено использовать интегральный показатель $P_{\text{ФОР}}$ – средняя мощность сигнала, состоящего из гармоник фиктивной обмотки ротора (ФОР). Для внедрения указанного способа в эксплуатацию в данной работе разработана методика проведения контроля на его базе.

Регистрация сигнала должна производиться в одной точке корпуса в области середины длины сердечника статора и на противоположной от клеммной коробки стороне корпуса. Далее определяется величина ДП $P_{\text{ФОР}}$. Полученное значение ДП сравнивается со значением, полученным при заведомо исправной ОР (ИОР). Если относительное изменение ДП превысило пороговое значение, то делается вывод о наличии обрыва. В том случае, если пороговые значения ДП заранее неизвестны, то они могут быть определены с помощью математического моделирования (ММ) на конечноэлементных моделях. Для этого выполняется моделирование ВМП АД с ИОР и с одним оборванным стержнем, после чего определяются величины ДП $P_{\text{ИОР.ММ}}$ и $P_{\text{ПОР.ММ}}$. Измеренное значение ДП $P_{\text{ФОР.ИЗМ}}$ будет сравниваться со значениями, определенными на ММ. Предлагаются следующие градации диагностического параметра $P_{\text{ИЗМ}}$:

1. $P_{\text{ФОР.ИЗМ}} \leq 3 \cdot P_{\text{ИОР.ММ}}$ – низкая вероятность обрыва;
2. $3 \cdot P_{\text{ИОР.ММ}} < P_{\text{ФОР.ИЗМ}} \leq 0.7 P_{\text{ПОР.ММ}}$ – средняя вероятность обрыва;
3. $0.7 P_{\text{ПОР.ММ}} < P_{\text{ФОР.ИЗМ}}$ – высокая вероятность обрыва.

Впоследствии, при регулярном проведении контроля, граничные значения ДП должны уточняться.

Библиографический список

1. **Страхов, А.С.** Использование средней мощности внешнего магнитного поля в качестве диагностического параметра повреждения обмотки ротора электродвигателя / А.С. Страхов [и др.] // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии: мат. междунар. науч.-техн. конф. («XIX Бенардосовские чтения»). – Т. 1. – Иваново, 2017. – С. 103 – 107.

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

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Солнечная генерация одно из самых перспективных направлений развития возобновляемых источников энергии. Всего 18 солнечных дней солнце содержит такое количество энергии которое содержат все запасы угля, нефти и природного газа на планете[1,2]

В работе рассматривается два типа солнечных электростанций: фотоэлектрические и термодинамические [3. отмечаются климатические и географические факторы ограничивающие их использование.

Несомненными лидерами по масштабам использования солнечной энергии в мире сегодня являются Германия и Китай. Россия отстает в данном направлении. Рассмотрены географические и климатические особенности и причины такого отставания.

В условиях современной энергетики перед инженерами стоит важная задача: совершенствовать технологии СЭС таким образом, чтобы максимально увеличить их КПД. [1]

Библиографический список

1. «Зеленая» генерация в России: что мешает получать электричество и тепло от солнца [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://altenergiya.ru/sun/zelyonaya-generaciya-v-rossii-chto-meshaet-poluchat-elektrichestvo-i-teplo-ot-solnca.html>.
2. Солнечная генерация [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_генерация.
3. Виды солнечных электростанций [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gigavat.com/ses_vidi.php.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности входят в повестку правительств крупнейших стран мира, корпораций и национальных институтов.

Россия обладает огромным потенциалом для внедрения решений в области энергоэффективности. Комитет Госдумы по энергетике уделяет особое внимание вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности [1].

Рассмотрение теоретических аспектов энергоэффективности и энергосбережения позволило выявить разницу между понятием повышения энергоэффективности и энергосбережением. Энергосбережение – это уменьшение затрат энергии при сохранении исходного полезного продукта, а энергоэффективность – увеличение полезного продукта при сохранении исходных затрат энергии. [3]

Реализации энергоэффективных проектов: оптимизация проектирования и реконструкции энергообъектов; замена старого оборудования; внедрение систем мониторинга и автоматизации; оптимизация работы систем охлаждения трансформаторов; внедрение автоматизированных тепловых пунктов [2].

Определены точки соприкосновения действий по повышению энергоэффективности и улучшения экологической обстановки. Принципиальное направление для движения вперед – это становление и развитие энергоресурсосберегающего подхода ко многим вопросам современной действительности, внедрение этого подхода в экономику, технику, культуру.

Библиографический список

1. **Потенциал** России для внедрения решений в области энергоэффективности [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eprussia.ru/news/base/2017/8154264.htm>.
2. **Системы** электроснабжения: Ждать нельзя модернизировать [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elec.ru/articles/sistemy-elektrosnabzheniya-zhdat-nelzya-modemizir/>.
3. **Энергоэффективность** и энергосбережение [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/ienergoberezhenie-i-povyshenie-ienergeticheskoi-vnosti.html>.

***В.О. Наумов, А.Н. Мошелёва, маг.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ – ТРАНСПОРТ БУДУЩЕГО

Нефть и газ – основные источники энергии для современной технической цивилизации. За 150 лет человечество израсходовало 65 % мировых запасов нефти. Ежедневно в мире расходуется нефти почти в 5 раз больше, чем удаётся найти её в новых месторождениях. Дальнейший ход событий приведет к тому, что человечество будет вынуждено перейти на другой вид энергии, т.е. наступит так называемый «кризис природных ресурсов» [1].

Эти факты являются причиной того, что развитые страны стали разрабатывать и выпускать менее расточительные и более экологически чистые автомобили [2].

Целью исследования является анализ состояния и перспектив развития автомобилестроения на базе электричества.

Основная причина распространения электромобилей – экономическая ситуация. Неизбежное постоянное подорожание нефтепродуктов подталкивает человечество на поиск нового источника энергии для транспорта [3].

Фактор, влияющий на перспективы развития электромобилей – государственная поддержка. Все больше стран предоставляют покупателям экологического транспорта всевозможную помощь в виде субсидий, кредитов и лизинга. Это делает электромобиль намного привлекательнее с экономической точки зрения.

Рынок электрокаров находится только в начале своего пути и его ждет неперенный рост. Интенсивность этого роста во многом будет зависеть от динамики цен на нефть. Однако постоянное развитие технологий и экономические реалии неизбежно приведут к тому, что электромобили станут равноценными участниками рынка, а возможно даже будут на нем доминировать.

Библиографический список

1. **Нефть** и газ – ресурсы не восполняемые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://statistika.ru/nature/2007/11/19/nature_9324.html.
2. **Трескова, Ю.В.** Электромобили и экология. Перспективы использования электромобилей // Молодой ученый. – 2016. – № 12. – С. 563 – 565.
3. **Электромобили:** будущее уже здесь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forbes.ru/biznes/>.

*Е.М. Новоселов, асп., Д.А. Полкошиников, ст. преп.;
рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Обрыв стержней короткозамкнутого обмотки ротора (ОР) является одной из неисправностей асинхронных двигателей (АД), которая приводит к появлению в диагностическом сигнале (внутреннее или внешнее магнитное поле, ток статора) так называемых гармоник фиктивной обмотки ротора (ФОР) [1]. Однако, на практике, на гармоники ФОР могут оказывать влияние различные эксплуатационные факторы, что может привести к ошибочным выводам о состоянии ОР.

В работе произведено исследование влияния некоторых эксплуатационных факторов (несимметрия питающего напряжения, изменение нагрузки на валу ротора, статический эксцентриситет ротора) на амплитуды гармоник ФОР, присутствующими во ВМП АД.

Для этого с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе Ansys Maxwell получены зависимости изменения амплитуды гармоники ФОР от данных факторов.

На основе анализа полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Влиянием несимметрии питающего напряжения и статического эксцентриситета ротора, изменяющиеся в допустимых диапазонных, на результаты контроля состояния ОР по гармоникам ФОР можно пренебречь.

2. Амплитуды гармоник ФОР увеличиваются пропорционально величине нагрузки на валу ротора АД, поэтому контроль состояния ОР целесообразно осуществлять при нагрузке АД не менее 30 % от номинальной.

Библиографический список

1. Новоселов, Е.М. Экспериментальное исследование внешнего магнитного поля асинхронного электродвигателя для контроля обрыва стержней короткозамкнутой обмотки ротора / Е.М. Новоселов, А.А. Скоробогатов, А.Н. Назарычев // Вестник ИГЭУ. – 2012. – № 1. – С. 10 – 15.

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

УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КАК ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Появление активных потребителей создало проблему выравнивания графика нагрузок и более точного его прогнозирования. Для решения этой проблемы могут использоваться рыночный механизм ценозависимого снижения потребления (ЦЗСП) [1]. Этот механизм позволяет управлять нагрузкой потребителей и снизить цену на электроэнергию на рынке «на сутки вперед» благодаря исключения дорогих электростанций и влияния на цены в ходе конкурентных отборов мощности, уменьшая их на величину ЦЗСП.

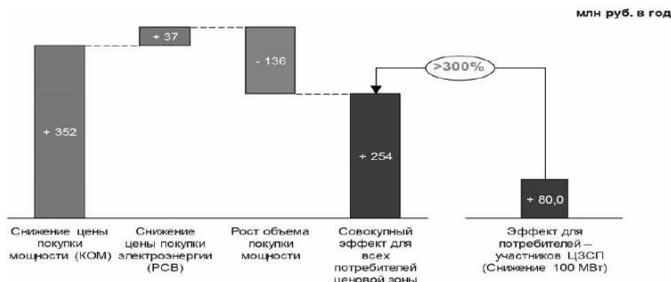


Рис. 1. Совокупный эффект для всех потребителей первой ценовой зоны при наличии ЦЗСП в объеме 100 МВт

Из рисунка 1 видно, что снижение цены на мощность путем ЦЗСП влияет на финансовые результаты и генерирующих компаний и потребителей. При этом для энергосистем положительный эффект в три раза больше, чем для потребителей. Экономия для потребителей, не участвующих в ЦЗСП компенсируется ростом объема покупки мощности за счет введенной правительством надбавки, которая распределяется на каждого потребителя и равна объему ценозависимого снижения [2].

Библиографический список

1. **Введение** в технологию ценозависимого потребления [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://so-ups.ru/index.php?id=dr_introduction.
2. **Посыпанко** Н.Ю. Особенности национального demandresponse // ЭнергоРынок. – 2017. – № 6. – С. 47 – 50.

А.М. Сахаров, Н.С. Кофтаев, маг.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Комплексная оценка технического состояния (ТС) позволяет определить необходимость технического воздействия и на электрооборудование, график проведения ремонтов (табл. 1) трансформатора марки TDXL – 10000/110/35/6, находящегося в реальной эксплуатации.

Таблица 1. Оценка индекса технического состояния (ИТС) трансформатора

Марка трансформатора	ИТС трансформаторного масла, %	ИТС обмоток трансформатора, %	ИТС высоковольтных вводов, %	ИТС трансформатора, %
TDXL-10000/110/35/6	71,4	40,9	46,9	60,3

Из табл. 1 видно, что обмотки и высоковольтные вводы трансформатора требуют учащенного контроля, замены обмотки и высоковольтных вводов.

Разработка и утверждение методики оценки в рамках Приказа № 676 стало одним из первых этапов решения задачи цифровизации электроэнергетики. Методика определяет порядок оценки технического состояния основного технологического оборудования и ЛЭП объектов электроэнергетики для определения оптимального вида, состава и стоимости технического воздействия на оборудование.

Библиографический список

1. Савельев, В.А. Методика оценки уровня эксплуатации, мониторинга и диагностирования электротехнического оборудования / В.А. Савельев, И.Д. Ратманова, О.В. Удальцов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: сборник научных трудов / Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. – 2008. – Вып. 58. – С. 50 – 61.

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

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ КОММУТАЦИИ
 В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СИСТЕМ ППТ**

Передачи постоянного тока высокого напряжения (ППТ)обладают большими возможностями по повышению уровня устойчивости, надежности и управляемости энергосистем [1].

Анализ и моделирование двух типов преобразователей с различными способами коммутации показывают, что данный процесс главным образом зависит от выбранной схемы и свойств используемых вентилях [1].

Сравнение преобразователей с линейной коммутацией и преобразователей реализующих емкостную коммутацию (Принципиальная схема последней представлена на рис. 1.) показывает, что вариант с емкостной коммутацией более устойчиво работает во время переходных процессов. Это хорошо видно на характеристиках переходных процессов приведенных на рис 2а и 2б. Повышение устойчивости при емкостной коммутации достигается за счет того, что между трансформатором преобразователя и вентилями моста включается конденсатор. Это обеспечивает искусственную коммутацию главных вентилях и компенсацию рассеяния трансформатора. Однако в этом случае возникают колебания при восстановлении напряжения.

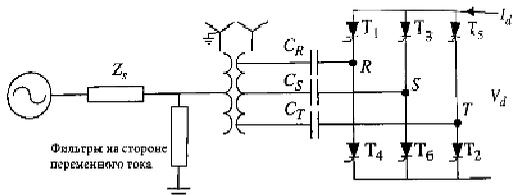


Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя с емкостной коммутацией

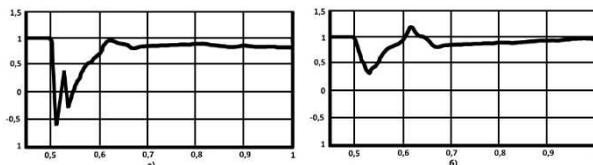


Рис. 2. Изменение постоянного напряжения при линейной коммутации (а) и при емкостной коммутации (б)

Библиографический список

1. **Виджей К.** Суд HVDC and FACTS Controllers: применение статических преобразователей в энергетических системах: Пер. с англ. – НП «НИИА», 2009. – 344 с.

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

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Автомобильный транспорт – неотъемлемая часть человеческой жизни. К автомобилю 21 века предъявляются серьёзные требования, связанные с безопасностью, экономичностью, а главное – с их экологичностью. Нулевая эмиссия выхлопных газов – одна из тенденций машиностроения, которой всё больше следуют мировые производители. Реализуется данная задача за счёт внедрения электромобилей. Электромобиль – это автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими ЭД с питанием от автономного источника электроэнергии, а не от двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Проблема массового внедрения электромобилей обострилась в начале 21-го века. Связано это с параметрами экологичности и постоянно растущими ценами на углеводороды служащими топливом для ДВС. Продуктом выхода ДВС являются выхлопные газы, содержащие токсины. Они негативно влияют на здоровье людей и окружающую среду. У ДВС низкий КПД – порядка 22 – 42 %. Конструкция ДВС является источником вибраций и крутильных колебаний, которые негативно сказываются на техническом состоянии автомобиля.

Обозначенные проблемы привели к тому, что человечество задалось целью найти замену ДВС. И нашло – в лице электродвигателей. Сама идея создания электромобиля появилась ещё в середине 19 века. Уже тогда стали предприниматься первые попытки создания машины, топли-

вом для которой было бы электричество. Однако наладить массовый выпуск электромобилей и заложить первый кирпичик электромобильной индустрии удалось лишь в начале 21-го века. Так, в 2003 г. Илон Маск основал компанию Tesla. Он наладил выпуск одноимённого электромобиля, который решает обозначенные выше проблемы.

За последнее десятилетие человечеству удалось поставить на массовое производство выпуск электромобилей и подготовить фундамент для постепенного ухода от традиционного ДВС, заменив его аккумуляторными батареями, способными накапливать электроэнергию. Доля электромобилей на конец 2017 г. достигла примерно 1 % на мировом рынке автомобилей. По оценкам экспертов, к 2050 г. их доля может увеличиться до 50 %.

Библиографический список

1. <https://www.tesla.com/about>.
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромобиль>.
3. <https://vc.ru/11524-tesla-winter>.

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

ОПТИМАЛЬНАЯ ЗАГРУЗКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ

Как правило, на электрических подстанциях устанавливается по два силовых трансформатора одинаковой мощности.

Выбор величины загрузки трансформаторов, а значит, и мощности проектируемых трансформаторов зависит от целого ряда факторов: минимизации потерь, с одной стороны, и приведенных (дисконтированных) затрат, включающих в свой состав стоимость оборудования, обслуживания и потерь электрической энергии, с другой стороны.

На целом ряде двухтрансформаторных подстанций номинальная мощность установленных трансформаторов не является оптимальной, трансформаторы явно не догружены в длительном режиме работы.

Ситуация осложнилась с введением в действие с 2015 года двух нормативных документов [1] и [2]. В соответствии с [1] степень загрузки вводимых после строительства объектов для каждого трансформатора определяется как:

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

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 на вводимой после строительства подстанции в соответствии с [2] используется при расчете тарифов на услуги по передаче электроэнергии.

Для определения эффективности новых подходов к оценке оптимальной величины мощности трансформаторов проведены сравнительные расчеты, базирующиеся на исходной информации, максимально приближенной к реальности.

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.

*А.С. Страхов, асп., Е.М. Новоселов, соиск.;
рук. И.Е. Веселова, к.т.н., доц.,
А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТКИ РОТОРА ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ

Известно, что обрыв стержня обмотки ротора (ОР) асинхронного двигателя (АД) приводит к появлению во внешнем магнитном поле (ВМП) гармоник фиктивной обмотки ротора (ФОР) [1]. Для их обнаружения в пусковых режимах наиболее рационально использовать оконное преобразование Фурье (ОПФ). Для получения достаточного разрешения по частоте необходимо, чтобы пуск длился достаточно долго. В отличие от низковольтных АД, высоковольтные имеют продолжительные пуски и поэтому являются более пригодными для обнаружения гармоник ФОР.

Для проверки возможности применения ОПФ при контроле состояния АД при пуске произведено математическое моделирование ВМП низковольтного АД. Продолжительность его пуска была искусственно увеличена до 4 с. Для сравнения получены спектры сигналов на моделях исправного АД, АД с одним оборванным стержнем и АД с динамическим эксцентриситетом (ДЭ). Частотно-временные спектры полученных сигналов приведены на рис. 1 – 3, из которых видно, что при возникновении обрыва стержня во время пуска отчетливо видны треки от гармоник ФОР (рис. 2). Таким образом, полученные спектры доказывают возможность

контроля состояния ОР АД в пусковых режимах по гармоникам ФОР, присутствующими во ВМП.

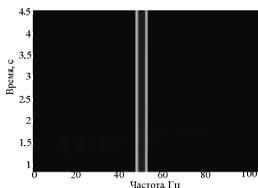


Рис. 1. Спектр исправного двигателя

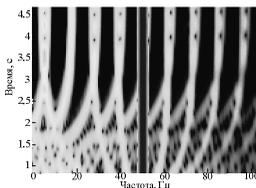


Рис. 2. Спектр двигателя с обрывом одного стержня

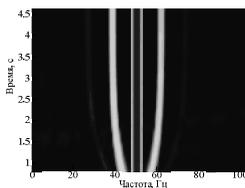


Рис. 3. Спектр двигателя с ДЭ

Библиографический список

1. Новоселов, Е.М. Экспериментальное исследование внешнего магнитного поля асинхронного электродвигателя для контроля обрыва стержней короткозамкнутой обмотки ротора / Е.М. Новоселов, А.А. Скоробогатов, А.Н. Назарычев // Вестник ИГЭУ. – 2012. – № 1. – С. 10 – 15.

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

АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время в электроэнергетике происходит процесс перехода к техническому обслуживанию и ремонтам (ТОиР) электрооборудования по его техническому состоянию (ТС). Для данной стратегии ТОиР необходим количественный показатель для оценки ТС оборудования, в качестве которого принято использовать индекс технического состояния (ИТС).

Существует множество методик определения ИТС, большинство из которых основаны на определении ИТС сначала для обобщенных функциональных узлов оборудования, а затем для оборудования в целом. Принцип нахождения ИТС функциональных узлов схож для методик. В общем случае ИТС определяется как сумма произведений весовых коэффициентов параметров, определяющих ТС оборудования, на текущую балльную оценку этих параметров. Основное различие в методиках заключается в балльных оценках. Например, для методики, разработанной Минэнерго (далее – методика 1), ее значение лежит в диапазоне от 0 до 4, а для методики, предложенной одной из сетевых компаний (далее – методика 2), – в диапазоне от 1 до 10. Результатирующее значение ИТС, как

правило, находится в диапазоне от 0 до 100. Однако, в одних методиках 0 – это наихудшее значение ИТС, а в других – наилучшее. Принцип нахождения ИТС единицы оборудования аналогичен для методик с теми же отличиями.

Методики различаются способом определения ИТС, и набором критериев оценки. В работе произведено сопоставление методик 1 и 2. В качестве объекта для сравнения методик выбрана воздушная линия электропередачи. В ходе сравнения была произведена классификация критериев оценки: статистический, по экспертным оценкам, по результатам расчетов, по результатам диагностики или испытаний. В работе показано, что большое количество критериев является критериями на основе экспертных оценок (в методике 1 почти три четверти от общего количества, а в методике 2 – более половины). При этом в методике 1 количество критериев равно 231, а во второй – 51. Большое значение количества критериев, определяемых по экспертным оценкам, при их высоком общем количестве может заглублять оценку ИТС и приводить к неверным выводам об уровне ТС оборудования. Поэтому направление дальнейшей работы в области исследования зависимости ИТС от влияющих факторов является важным.

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

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГОСИСТЕМА С АКТИВНО-АДАПТИВНОЙ СЕТЬЮ

При обострении экологической ситуации при растущем энергопотреблении, истощении традиционных энергоресурсов особая роль отводится интеллектуальной электроэнергетической системе с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). Под этим термином понимается электроэнергетическая система нового поколения, основанная на мультиагентном принципе организации управления ее функционированием и развитием с целью обеспечения эффективного использования всех энергоресурсов для надежного, качественного и эффективного энергоснабжения потребителей за счет гибкого взаимодействия всех ее субъектов на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной иерархической системе управления[1].

Под мультиагентной (МАС) системой понимается такая система, в которой любой агент представляет собой открытую систему, помещенную в некоторую среду, причем эта система обладает собственным поведением, соответствующим некоторым экстремальным принципам. Такие технологии нового поколения имеют огромные перспективы развития и уже за-

рекомендовали себя очень эффективными в решении назревших проблем в мировой энергетике. ИЭС ААС способны дать следующие значимые эффекты в электроэнергетике: снижение потерь в сетях; повышение надежности энергосистемы; снижение инвестиционных затрат; рост эффективности использования мощностей; рост ВИЭ и децентрализации генерации; снижение экологической нагрузки; улучшение условий для экономической интеграции и конкуренции [2].

Библиографический список

1. **Основные** положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью, 2012 – 51 с.
2. **Кобец Б.Б.**, Волкова И.О. Smart Grid в электроэнергетике // Энергетическая политика. – 2009. – № 6 – С. 54 – 56.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Суть рассматриваемого в работе нового тестового метода диагностирования состоит в подаче на обмотку «расшинованного» трансформатора прямоугольного импульса низкого напряжения при одновременном осциллографировании характеристик отражающих реакцию обмоток на его воздействие.

В работе определены параметры схемы замещения реального трансформатора (ТРД-16000/35)[3] и направления дальнейшего совершенствования метода, а именно: замена источника напряжения на источник постоянного тока, отказ от «расшиновки» трансформатора, применение постоянного тока и вакуумного контактора для создания информативного переходного процесса и использования экранированных делителей высокого напряжения сводящих к минимуму влияния помех на результаты измерений.

Усовершенствование метода позволит предотвратить внезапный отказ трансформатора и своевременно вывести его в ремонт.

Библиографический список

1. **Тихомиров П.М.** Расчет трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
2. **Силовые** трансформаторы. Справочная книга: под ред. С.Д. Лизунова и А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат, 2004. – 616 с.

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

КОСМИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Принцип работы солнечной космической электростанции заключается в выведении ее модулей на геостационарную орбиту (высота 36 тыс. км), где она «повиснет» над одной точкой земной поверхности, будет непрерывно освещаться Солнцем вырабатывать электроэнергию и передавать ее на Землю (рис. 1).

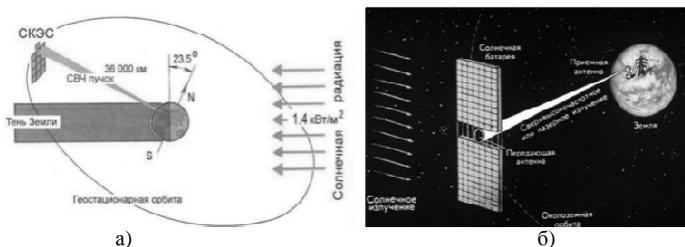


Рис. 1. Принципиальная схема КСЭС (а) и способ передачи энергии (б)

Цель создания электростанции: доставка энергии на воздушные, космические и труднодоступные наземные объекты; постройка и развитие аэрокосмических солнечных электростанций с дистанционной передачей энергии на Землю, а также обеспечение безопасности космического пространства Земли [1].

Библиографический список

1. **Космические** солнечные электростанции [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: http://www.gigavat.com/ses_kosmos.php (дата обращения: 11.12.2017).

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

ЛОКАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ MICROGRID – ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время в основе значительного объема энергообеспечения в России лежит раздельное производство – электрической энергии на крупных конденсационных электростанциях, а тепловой энергии – в ко-

тельных. Такой подход отличается неэффективностью и низкой производительностью. Это в свою очередь приводит к высоким тарифам, а в специфических российских условиях – еще и к низкому качеству электро- и теплоснабжения. Сегодня признана необходимость структурной перестройки российской энергетики путем перехода от жестко централизованной системы к разнообразию типов и форм энергосистем. Одним из таких видов являются локальные энергосистемы Microgrid. В работе приводятся результаты анализа основных характеристик Microgrid и ее составляющих компонентов. Рассмотрены виды источников генерации для Microgrid, типы преобразовательных систем, а именно ветро- и солнечных электростанций. Изучен и описан программно-технический комплекс управления микросетями AMIGO.

Библиографический список

1. **Технологическая** платформа «Малая распределенная энергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.e-apbe.ru/distributed_energy/.
2. **Журнал** «ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://энергия-единой-сети.рф/archive/37/228/>.
3. **ПТК AMIGO** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rtsoft.ru/>.

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

ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ПОДСТАНЦИЙ 110/35/6 кВ

Развитие информационных технологий позволяет реализовать новый подход к выполнению измерений, к приему и передаче сигналов и команд управления для реализации функций РЗА на централизованном принципе (ЦРЗА). Применение ЦРЗА обеспечивает надежное электроснабжение, типизацию схем вторичных цепей, снижение нагрузки на измерительные трансформаторы тока, повышенный уровень управляемости и наблюдаемости сети, а также снижение затрат на оборудование, строительство-монтажные и пуско-наладочные работы и обслуживание.

Одним из возможных направлений централизации является направление, основанное на распределенной обработке аналоговых измерений и централизованной обработке выходных сигналов о срабатывании локальных комплектов РЗА и формировании команд управления выключателями. Другое направление связано с централизованной обработкой аналоговой информации. Оно предусматривает выполнение всех функ-

ций РЗА для всех элементов и присоединений на подстанции в одном многопроцессорном вычислительном устройстве [1].

В работе рассмотрены концептуально различные варианты построения РЗА на централизованном принципе [1]:

1. Установка двух взаиморезервирующих микропроцессорных (МП) терминалов РЗА на каждый защищаемый элемент сети с выполнением полного набора функций основных и резервных защит в каждом из них.

2. Централизованная РЗА, когда все функции РЗА для защищаемых элементов энергообъекта реализуются на базе централизованных взаиморезервирующих серверов РЗА.

3. Комбинированная архитектура, когда на каждый защищаемый элемент сети устанавливается по одному МП терминалу РЗА, в котором реализованы все функции основных и резервных защит этого элемента сети, и централизованный сервер РЗА, резервирующий функции всех МП терминалов РЗА объекта.

Показано, что оптимальным решением является комбинированная архитектура комплекса РЗА, которая сочетает в себе надежность традиционных устройств РЗА и инновационность цифровых.

Библиографический список

1. **Волошин А.А.**, Арцишевский Я.Л., Максимов Б.К. Вопросы создания централизованных систем РЗА подстанций // Релейщик. – 2012. – № 2. – С. 32 – 33.

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

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ДЛЯ МОСТИКОВЫХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Нормативные документы ПАО «Россети» содержат рекомендации по применению мостиковых схем на напряжение 110 и 220 кВ. Данные схемы могут применяться как с ремонтной перемычкой, так и без неё при соответствующем обосновании. Однако критериев, по которым принимается решение, не приводится. Поэтому требуется установить признаки, на основании которых в проектной практике будет производиться выбор определенного варианта схемы подстанции.

Установка ремонтной перемычки в мостиковых схемах приводит к увеличению капиталовложений на величину стоимости двух разъединителей и ошиновки, но при этом повышается гибкость схемы. В работе

произведен анализ применимости того или иного варианта схемы распределительного устройства на основе сопоставления затрат. Критерием применения ремонтной перемычки было принято отрицательное значение дополнительных затрат, определяемых по формуле:

$$Z = \Delta K - \sum_{t=1}^n \frac{\Delta I}{(1+E)^t} \rightarrow 0,$$

где ΔK – разница капиталовложений на сооружение схем; ΔI – разница издержек; E – норма дисконта; n – срок окупаемости проекта.

Основной составляющей издержек является ущерб от недоотпуска электроэнергии. В работе произведен расчет ущерба таблично-логическим методом. Составлены таблицы надежности для обоих вариантов схем (с перемычкой и без неё). При этом учитывались отключения во всех возможных режимах, в том числе при ремонте выключателя без отказа других элементов. Ущерб состоит из двух составляющих: потребительский – при отключении обоих трансформаторов подстанции, системный – увеличение потерь в линиях в результате ограничения перетока мощности. Определено процентное содержание отдельных составляющих в формуле для разности ущербов и часть из них исключена ввиду малого влияния на конечный результат.

По результатам расчетов в работе даны рекомендации по применению ремонтных перемычек в мостиковых схемах в зависимости от влияющих параметров: показателей надёжности высоковольтных выключателей, величины перетока мощности, величины нагрузки подстанции, длин линий.

О.Ю. Шмельва, студ.;
рук. И.Н. Сулыненков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЕТРОУСТАНОВОК»

Переход к новой системе подготовки студентов в ИГЭУ по программам бакалавриата требует пересмотра лабораторного курса. Дисциплина «Электрические станции на базе возобновляемых источников энергии» (ЭСВИЭ), реализуемая кафедрой «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования», не обеспечена в должной мере лабораторными стендами и работами. Поэтому разработка комплекса лабораторных работ (ЛР) по курсу ЭСВИЭ на базе новых лабораторных стендов является важной и актуальной задачей.

Для проведения лабораторных занятий по курсу ЭСВИЭ для студентов профиля «Электрические станции и подстанции» приобретен ком-

плект типового лабораторного оборудования «Нетрадиционная электроэнергетика – натурная модель ветроэлектрогенератора». Анализ заводских инструкций показал следующими основными недостатками: схемы сборки стенда не удобны и не соответствуют натурной модели; набор экспериментов не достаточен для комплексного изучения материала; отсутствуют рекомендации по проведению экспериментов; ЛР не оптимизированы по времени; отсутствует теоретический материал, поясняющий суть работ; не представлен фонд оценочных средств для контроля освоения материала.

Цель работы – приведение методического обеспечения ЛР к требуемому уровню. Основные результаты работы:

1. Проанализированы функциональные возможности нового лабораторного стенда. Сформирован перечень экспериментов ЛР.

2. Произведена обкатка ЛР на лабораторных стендах, сформулированы рекомендации по их выполнению.

3. Сняты шаблонные характеристики для организации контроля качества выполняемых студентами работ.

4. Разработаны схемы ЛР и описан порядок их сборки.

5. Описана последовательность проведения каждого эксперимента.

Определен перечень фиксируемых и расчетных параметров.

5. Сформирована теоретическая база изучаемого материала.

6. Сформулированы вопросы для контроля.

7. Разработаны методические указания для выполнения ЛР.

Результаты работы будут использованы в лабораторном курсе дисциплины ЭСВИЭ для повышения качества подготовки студентов профиля «Электрические станции и подстанции».

СЕКЦИЯ 19

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

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

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

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

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ОПОР ДЛЯ ЛИНИЙ ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Развитие производства полимеров поспособствовало их использованию в роли строительного материала. Стеклопластик – хороший диэлектрик, обладающий высоким электрическим сопротивлением, в частности полимерные материалы получили широкое применение в производстве опор линий электропередач и изоляторов [1]. Получаемый продукт обладает высокой упругостью (опоры стойкие, гибкие, легко переносят сильные порывы ветра и ураганы), а лёгкий вес обеспечивает удобный монтаж и транспортировку. Опоры долговечны, срок службы составляет более 30 лет. Они являются диэлектриками, и им не требуется заземление. Композитные опоры экологичны, материалы, из которых они изготавливаются, не приносят вреда окружающей среде. К недостаткам таких опор относится их высокую стоимость и тот факт, что опоры поддерживают горение, если их не обработать специальным составом [1].

Учитывая достоинства опор из полимерных материалов, целесообразно использовать их для освещения автомобильных дорог. В настоящее время широко применяются бетонные и металлические опоры. Сравнительно лёгкий вес композитных опор и их полая конструкция поспособствует тому, что в случае ДТП, участники дорожного движения получают минимальные повреждения. В случае ураганных ветров падение бетонных или металлических столбов нанесет более серьёзные повреждения, а полимерные опоры, благодаря своей упругости, останутся в исходном состоянии.

Производство композитных опор в нашей стране недостаточно активно. Данный вид опор экономически неконкурентоспособен, однако не стоит забывать, что на первом месте всегда должна стоять безопасность жизнедеятельности людей. В этом главном аспекте опоры из композитных материалов имеют колоссальное преимущество.

Библиографический список

1. **Стив Колтхарп**, Тип Вайд. Композитные опоры // Энергоэксперт. – 2010. – № 6 – С. 68 – 71.

В.В. Быстрых, студ.;
рук. В.Е. Качесов, д.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)

СИСТЕМА ЛОКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ФАЗНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ СЕТЕЙ 6 – 35 кВ

Распределительные сети подвержены однофазным замыканиям на землю (ОЗЗ). Перемежающаяся дуга при ОЗЗ может привести к опасным дуговым перенапряжениям до $3,1U_{фл}$ [1], переходу однофазного замыкания в междуфазное, а также гибели людей и животных. Исключить это явление при наличии резерва питания можно оперативным отключением поврежденного участка. Для этого необходим дистанционный способ определения места повреждения.

Предлагается устройство, локализующее ОЗЗ в сети – устройство определения поврежденного фидера, основанное на анализе полярностей токов нулевой последовательности (НП). При ОЗЗ ток НП на пути от шин подстанции до повреждения больше и противоположно направлен по отношению к токам НП смежных линий.

В каждом узле сети микроконтроллеры (МК) посредством трансформаторов тока измеряют фазные токи и передают их значения на центральную фазу для вычисления тока НП. Закодированная информация о полярности и координаты устройства в виде ВЧ-сигнала с помощью PLC-модема передаются в пункт диспетчерского управления для формирования для формирования пути к повреждению.

Устройства питаются от защищаемой линии двумя способами: а) электростатически и б) электромагнитно. Мощность и напряжение источника достаточны для питания МК и PLC-модема.

Оценено затухание передаваемого ВЧ-сигнала частотой 50 кГц и 100 кГц. В рассматриваемой сети сигнал частотой 50 кГц обеспечивает большее напряжение на приемнике, достаточное для уверенного приема информации.

Внедрение способа на практике позволит повысить надежность распределительных сетей, повысить уровень электробезопасности и снизить число аварий, сопровождающихся полным отключением сети.

Библиографический список

1. **Перенапряжения** в электрических системах и защита от них: Учебник для вузов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, М.В. Костенко, Ю.А. Михайлов. – СПб. Энергоатомиздат. 1995. – 320 с.

*М.С. Житин, студ.;
рук. Т.И. Сироткина
(КМПО РАНХиГС при президенте РФ, г. Москва),
А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НАБЛЮДЕНИЕ ЛЕВИТАЦИИ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ЛЕВИТРОН-2»

Физические явления, происходящие в магнитных полях, описываются дифференциальными уравнениями Максвелла. Понимание такого рода выражений сложно и вряд ли способно моментально развить и укрепить энтузиазм и стремление к научной работе.

А вот незатихающие двадцатилетние споры по стационарным магнитным полям в моделях (игрушках, патент 1983-2003 г. Р. Хэрриген) «Левитрон» способствуют решению проблемы инновационных технологий в единой педагогической системе образования.

Сборка, описание и демонстрация первой модели «Левитрон-1» позволили показать историческую связь между открытиями, сделанными в XVIII – XIX веках (свойства магнитных полей, явление электромагнитной индукции, диамагнитные свойства веществ), и открытием XX века – полупроводников – каждому студенту.

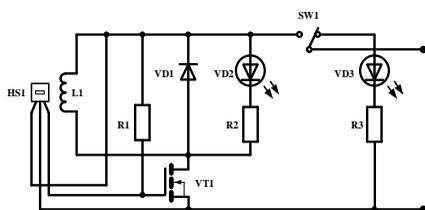


Схема «Левитрона-2»: SW – трехпозиционный переключатель, HS – датчик Холла, R1, R2, R3 – резисторы, VD1 – диод, VD2, VD3 – светодиоды, VT1 – полевой транзистор, L1 – катушка индуктивности

«Левитрон-1» продемонстрировал один из способов применения магнитной левитации в технике [1, 2], но из-за неправильно выбранного внутреннего диаметра катушки L1 (см. схему), «зависание» неодимового магнита длилось не более 3 минут, после чего магнит падал (в результате нагрева катушки L1 датчик Холла HS1 размыкал цепь).

В отличие от первой модели, в «Левитроне-2» точно просчитаны повторяющиеся циклы перемагничивания катушки L1, и датчик Холла HS1 использовался в качестве высокочастотного переключателя. Схема приведена на рисунке.

Предложенная модель проста, является легкой для сборки, позволяет визуально наблюдать левитацию длительное время и реализацию физических явлений (процессов) на практике.

Библиографический список

1. **Мартыненко Ю.Г.** Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 368 с.
2. **Федоров А.Е.** Динамика и устойчивость системы электрически заряженных тел. – Н.Н.: автореферат, 2007. –25 с.

*А.А. Лаптева, студ.,
рук. Н.Ф. Петрова, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ
ГЕНЕРАТОРНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СЕТЯХ ТЭЦ**

Уровни перенапряжений, возникающих при коммутациях включения и отключения присоединений с генераторами, существенно зависят от типа установленных генераторных выключателей, так как перенапряжения при коммутациях определяются процессами, происходящими в дугогасительной камере выключателя и, следовательно, зависят от свойств дугогасящей среды. Вакуумные выключатели обладают достаточно высокой скоростью восстановления электрической прочности между контактами вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) после гашения дуги. Вакуумная дуга представляет собой дугу в среде металлического пара, при повторных зажиганиях она гаснет при весьма большой скорости прохождения тока через нулевое значение. Следовательно, отключение вакуумного выключателя может сопровождаться многократными повторными зажиганиями дуги, приводящими к эскалации перенапряжений, опасных для витковой изоляции статорной обмотки генераторов. В этой связи необходимо оснащать сети генераторного напряжения такими выключателями, скорость восстановления электрической прочности которых превышает скорость нарастания собственного переходного восстанавливающегося напряжения на их контактах.

Анализ СПВН показывает, что требуемая начальная скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка при отключении токов КЗ между выключателем и генератором должна быть не менее 1,25 кВ/мкс, а при КЗ между выключателем и трансформатором должна быть не менее 1,46 кВ/мкс. Если скорости восстановления электрической прочности предлагаемых к установке выключателей превышают расчетные значения СПВН, повторных зажиганияй дуги в дугогасительной камере генераторного выключателя наблюдаться не будет. Следовательно, не будет наблюдаться и опасных высокочастотных перенапряжений на витковой изоляции генератора.

Библиографический список

1. **Электрооборудование** высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы: монография / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, О.И. Лаптев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 343 с.

Р.А. Финашин, асп.;
рук. В.Е. Качесов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)

УСТРОЙСТВО ИМПУЛЬСНОГО РЕЗИСТИВНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ СЕТЕЙ 6 – 35 кВ

Резистивное (постоянное) заземление нейтрали сетей 6 – 35 кВ обладает недостатками, вызванными значительным током замыкания. Для их устранения на кафедре ТВН НГТУ разработано устройство импульсного резистивного заземления (ИРЗ) нейтрали [1]. Его работу можно представить следующим образом: сеть в нормальном режиме работает с изолированной нейтралью, а в случае неустойчивого замыкания на землю (ОЗЗ) сеть автоматически переходит в режим резистивного заземления посредством управляемого симисторного ключа.

Запускающий ток для симистора формируется посредством дифференцирующе-запускающей цепи (ДЗЦ). В простейшем случае это может быть RC-цепочка, подключённая между нейтралью сети и землей.

Система запуска заземляющего ключа реагирует на производную напряжения в нейтрали сети. При близком к «металлическому» замыканию на землю производная синусоидального напряжения на нейтрали сети равна произведению угловой частоты (ω) на максимальное фазное напряжение $U_{\phi,m}$

$$\frac{du_N(t)}{dt} = U_{\phi,m} \omega \cos(\omega t) .$$

Скорость изменения напряжения на нейтрали сети при неустойчивых ОЗЗ определяется частотами собственных колебаний в перезарядном (источник-сеть) и разрядном (поврежденная фаза-земля) контурах. Вторая частота сильно зависит от удалённости места замыкания от центра питания, но в подавляющих случаях производная при неустойчивых ОЗЗ много превышает ее значение при устойчивом замыкании, что позволяет надёжно запускать ИРЗ.

Недостатки, устраняемые ИРЗ: снижение энергии, выделяемой в нейтральном резисторе; снижение мощности резистора; улучшение условий для самопогасания дуги; повышение электробезопасности сети.

Библиографический список

1. **Патент** на изобретение: РФ № 2454769 (от 19.05.2011), Н02Н09/00. Устройство заземления нейтрали трехфазной электрической сети / В.Е. Качесов // БИ № 18, 2012.

Р.А. Финашин, асп.;
рук. В.Е. Качесов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)

НИЗКОВОЛЬТНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ 6 – 35 кВ

На кафедре ТВН НГТУ, в образовательно-научных целях разработана и создана низковольтная трехфазная физическая модель сети с основными способами заземления нейтрали (изолированная, резистивная, резонансная ДГР). Для воспроизведения процессов при дуговых перенапряжениях в лабораторном стенде воплощены два основных механизма поведения заземляющей дуги – в соответствии с теорией Петерсена, и Петерса и Слепяна. В качестве источника в установке используется трансформатор ТСЗИ-4 380/42. Емкостно-индуктивные параметры схемы замещения сети соответствуют заданной частоте собственных колебаний в перезарядном контуре (~2 кГц). Элементом, моделирующим заземляющую дугу, выступает симистор, управляемый динистором с заданным напряжением пробоя.

Для моделирования заземляющей дуги по теории Петерсена использован относительно мощный симистор, отключающий ток замыкания при первом его переходе через нулевое значение. Для модели дуги по теории Петерса и Слепяна используется слаботочный симистор, который отключает ток замыкания лишь в момент перехода им через «нуль» его промышленной составляющей.

Основная модель сети дополнена импульсным резистивным заземлением/заземлителем (ИРЗ) [1] – нейтральным резистором с автоматическим ключом, запускаемым с помощью дифференцирующей запускающей цепи. Такое заземление работает только при неустойчивых/перебегающих однофазных замыканиях, устраняя недостатки постоянного заземления.

Разработанная физическая модель позволяет исследовать процессы при однофазных дуговых замыканиях (ОДЗ) в распределительных сетях как в исследовательских, так и учебных целях.

Изменяемое напряжение пробоя составных динисторов позволяет менять напряжение пробоя, имитируя изменение электрической прочности изоляции, а также эскалацию напряжения на изолированной нейтрали.

Библиографический список

1. **Качесов В.Е.**, Финашин Р.А. Импульсно-резистивное заземление нейтрали в распределительных сетях / Электричество. – 2017. – № 12. – С. 12 – 18.

Ю.А. Чернышов, студ.;
рук. А.А. Мюльбаер, асс.
(НГТУ, г. Новосибирск)

РАЗРАБОТКА ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Одним из основных этапов разработки комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения является проектирование и испытания внутренней изоляции высоковольтного делителя напряжения, используемого в данном оборудовании, так как от качества внутренней изоляции зависит электробезопасность персонала и долговечность всей конструкции.

В работе были рассмотрены диэлектрики, которые могут быть использованы для этих целей. Из всего многообразия диэлектриков, наиболее подходящим вариантом, удовлетворяющим всем техническим требованиям, предъявляемым к данному измерительному оборудованию, являются полиуретановые заливочные компаунды, которые в начальном состоянии являются жидкими, но затем отверждаются, что значительно облегчает процесс изготовления изоляции [1]. Проведенный анализ литературных источников показал, что в открытом доступе имеется подробная информация только о свойствах компаундов советского производства, которые в настоящее время уже не выпускаются. Данные о современных компаундах, их испытаниях и технологии заливки зачастую являются коммерческой тайной фирм изготовителей и не находятся в открытом доступе. Конструкция заливаемых деталей имеет уникальную форму, что также внесло свои требования к внутренней изоляции и способам ее заливки, что и привело к необходимости разработки собственного метода заливки и вспомогательного оборудования, позволяющего получить необходимые электрические и механические характеристики всей конструкции.

Для проверки электрической прочности и устойчивости к внешним и внутренним воздействиям были спроектированы и изготовлены испытательные образцы, а также разработаны методы проведения тепловых и электрических испытаний. На основании результатов данных испытаний выбран наиболее подходящий вариант внутренней изоляции измерителей наведенного напряжения, который будет использоваться при дальнейшем их производстве.

Библиографический список

1. Долгинов, А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. – М.: Энергия, 1968. – 464 с.

А.Ю. Шутович, асп.;
рук. В.Е. Качесов, д.т.н., доц.
(НГТУ, г. Новосибирск)

ИЗМЕРЕНИЕ НАВОДОК ПРИ ПЕРЕКРЫТИЯХ НУЛЕВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ВЛЭП

Локация «нулевых» изоляторов при диагностике воздушных ЛЭП может осуществляться по их электромагнитному высокочастотному (15 – 30 МГц) излучению [1], возникающему при их перекрытиях.

Для проверки возможности измерения этого излучения был проведен эксперимент на реальной ВЛ 10 кВ, к которой подвешивался изолятор с последовательно подключенным искровым промежутком (ИП). Перекрытие ИП имитировало перекрытие по поверхности «нулевого» изолятора. Регистрация излучения при перемещении вдоль ВЛЭП осуществлялась посредством квадратной рамки, сигнал которой записывался на осциллограф. В эксперименте также были выполнены измерения тока в цепи разряда (рис. 1).

Сопоставление результатов эксперимента хорошо согласуются с предварительными аналитическими расчетами разрядного тока и наводки в антенне. Удовлетворительный уровень сигнала был зафиксирован при удалении от источника излучения на расстояние 0,8...1 км. Поэтому диагностика дефектов изоляции, например, с помощью беспилотного летательного аппарата вполне осуществима.

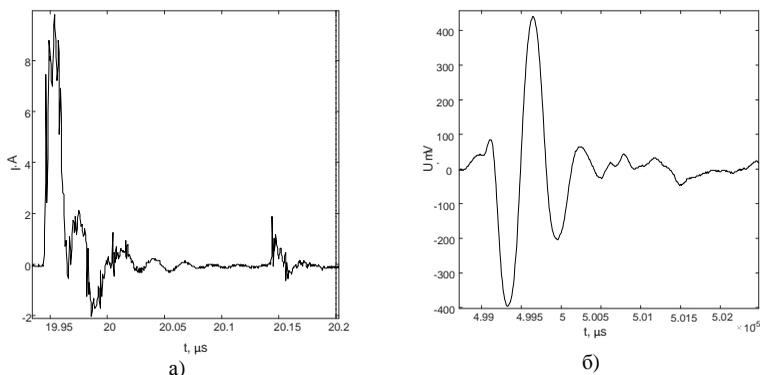


Рис. 1 Осциллограммы разрядного тока (а) и напряжения, наводимого в антенне (б)

Библиографический список

1. Шутович А.Ю. Локация дефектов в линейной изоляции воздушных линий по двум измерениям с помощью летательных аппаратов / А.Ю. Шутович, В.Е. Качесов // Электроэнергетика глазами молодежи-2016: материалы 7 междунар. науч.-техн. конф., 19–23 сент. 2016 г., Казань. : в 3 т. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – Т. 1. – С. 262 – 265.

*В.А. Алексеев, студ.;
рук. Т.Е. Шадриков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИИМИДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ЦТТН

Для повышения диэлектрических свойств изоляции между первичной и вторичной обмоткой цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН) было предложено исследовать [1] возможность применения клейкого материала на основе полиимидной пленки. Причиной выбора данного материала являются уникальные физические и электрофизические свойства пленки: широкий температурный диапазон (от -273 до $+400$ °С) [2]; толщина материала 30 мкм; $\varepsilon = 3.5 - 4.0$ [3].

Согласно ГОСТ 1516.2-97[4] твердая изоляция была испытана в двух состояниях в сухом и увлажненном:

- методом 100 %-го напряжения;
- методом среднего разрядного напряжения.

В результате испытаний материала были получены статистические характеристики изоляции [1]:

- в сухом состоянии методом 100 %-го напряжения: среднее пробивное напряжение – 5,75 кВ; электрическая прочность – 191,83 кВ/мм; СКО – 0,231 кВ; коэффициент вариации – 4,022%; выдерживаемое напряжение – 5,454 кВ;

- во влажном состоянии методом 100 %-го напряжения: среднее пробивное напряжение – 6,21 кВ; электрическая прочность – 207 кВ/мм; СКО – 0,272 кВ; коэффициент вариации – 4,39 %; выдерживаемое напряжение – 5,856 кВ;

Учитывая [5], что нормативный срок работы изоляции в измерительном энергетическом оборудовании должен быть установлен в 25 лет, то для определения пригодности пленки требуется проведение дополнительных ресурсных испытаний диэлектрика.

Библиографический список

1. Хаушильд В., Мош. В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений / Пер. с нем. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 312 с.
2. URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/Каптон> (дата обращения: 10.01.2018).
3. URL:<https://www.czsk.ru/katalog/obmotochnye-materialy/poliiimidnye-plenki.html> (дата обращения: 10.01.2018).
4. ГОСТ 1516.2-97 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.
5. ГОСТ 7746-2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия.

Д.С. Сентюрев, маг.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ СОЕДИНИТЕЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА СХЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

В процессе эксплуатации электрооборудования высокого напряжения особое внимание уделяется проблемам, связанным с надежностью работы изоляции. Основой одного из наиболее информативных способов оценки состояния изоляции высоковольтного оборудования является измерение характеристик частичных разрядов (ЧР).

Основным недостатком схем регистрации и измерения ЧР является необходимость отстройки от помех. Минимизировать влияние помех можно с использованием мостовой схемы регистрации ЧР.

Мостовая схема регистрации характеристик ЧР нуждается в оптимизации ее параметров для увеличения помехоустойчивости и помехозащищенности. Выполнить это условие, при регистрации характеристик ЧР в объектах, отличающихся собственной емкостью, можно введением в схему регистрации соединительного конденсатора переменной емкости.

При проектировании конденсаторной изоляции, в том числе, при проектировании изоляции соединительного конденсатора схемы регистрации и измерения частичных разрядов, должны быть созданы такие условия, при которых напряженность электрического поля вблизи поверхности электродов конденсатора не превышает начальной напряженности возникновения коронного разряда, равной

$$E_n = 23,6m_n \delta \left[1 + \left(0,76 / \delta^{0,3} r^{0,38} \right) \right].$$

Для сферических электродов с радиусом $r = 6,25$ см начальная напряженность возникновения короны равна $E_n = 29,285$ кВ/см.

Результаты расчета свидетельствуют о том, что минимальное расстояние между электродами соединительного конденсатора, размещенными в корпусе вентильного разрядника, на напряжение 100 кВ при котором выполняется условие $E < 0,9E_n$, обусловленное возможным изменением давления и температуры в лаборатории при испытаниях, достигается при расстоянии между электродами $S = 5,1$ см. При этом напряженность электрического поля составляет $E = 26,3$ кВ/см.

*А.Д. Бачурина, А.С. Папина, студ.;
рук. Т.Е. Шадриков, к.т.н., доц., А.М. Соколов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ В SIMULINK

Высоковольтные электротехнические комплексы повышенной частоты (ЭТКПЧ) могут быть использованы для систем промышленного электроснабжения. Составляющей таких систем являются полупроводниковые преобразователи напряжения, высоковольтные силовые трансформаторы повышенной частоты, кабельные линии и нагрузка (потребители, например, электротермические устройства). Для анализа работы ЭТКПЧ существует математическая модель, разработанная с помощью языка программирования MATLAB [1].

Для исследования процессов в сложно-разветвленных ЭТКПЧ использование программы [1] является малоприменимым, т.к. предполагает значительное изменение кода программы. Для облегчения работы с разветвленным ЭТКПЧ предлагается создать модель комплекса в программе Simulink. Библиотека «SimPowerSystem» в Simulink предоставляет инструменты для анализа и моделирования электроэнергетических систем. Однако некоторые элементы ЭТКПЧ имеют особенности [1], которые стандартные блоки не способны смоделировать. Поэтому возникает необходимость разработки собственных блоков и создании пользовательской библиотеки для наглядного и быстрого моделирования сложно-разветвленных ЭТКПЧ.

Необходимо учесть особенности протекания процессов и создать блоки следующих элементов ЭТКПЧ: источник питания (моделирующий выходное переменное несинусоидальное напряжение повышенной частоты, с осциллограммой в виде прямоугольника, трапеции и трапеции с паузой); кабельную линию; высоковольтный трансформатор повышенной частоты.

Библиографический список

1. **Особенности** применения частотного анализа при расчете электрических цепей с транзисторными преобразователями напряжения / Т.Е. Шадриков, А.М. Соколов, А.В. Гусенков [и др.] // Электричество. – 2016. – № 1. – С. 4 – 12.

*А.А. Дьячков, студ.;
рук. А.М. Соколов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ

Кабельные линии электропередач повышенной частоты (порядка 10 – 20 кГц) перспективны для использования в системах электроснабжения

промышленных технологических установок [1]. Преобразование величины напряжения в них осуществляется при помощи трансформаторов. В связи с тем, что работа силовых трансформаторов на повышенных частотах отличается от таковой на промышленной частоте, актуальным является правильный расчёт трансформатора с точки зрения минимизации потерь мощности.

Для расчёта выбрана упрощённая модель трансформатора, отличающаяся отсутствием секционирования высоковольтной обмотки. Аналитический расчёт осуществляется с помощью программы Mathcad по критерию минимума суммарных потерь в обмотках и магнитопроводе при неизменном значении габаритной мощности. Результаты расчётов проверяются с помощью полевой модели данного трансформатора, созданной в среде Ansys Maxwell.

Для получения опытных данных используется экспериментальная модель кабельной электропередачи, в состав которой входит исследуемый трансформатор. К выходу преобразователя через повышающий трансформатор подключается высоковольтная кабельная линия, которая питает нагрузку через понижающий трансформатор.

Основными задачами данной работы являются: нахождение оптимальных параметров трансформатора по условию минимальных потерь и проверка результатов расчёта с помощью программной среды и опытной установки. Эти результаты в дальнейшем будут использованы при разработке уточнённой методики расчёта силовых трансформаторов повышенной частоты.

Библиографический список

1. **Технико-экономические показатели силовых трансформаторов высокого напряжения локальных электроэнергетических систем переменного тока повышенной частоты / Гусенков А.В., Лебедев В.Д., Шадриков Т.Е., Соколов А.М. // Энергетик. – 2015. – № 2. – С. 11 – 14.**

***А.А. Жолобов, магистрант;
О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПРИМЕСЕЙ НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Целью проведения аналитической работы является определение влияния размера и количества механических частиц на электрическую прочность трансформаторного масла для различных классов чистоты.

Классы чистоты определялись в соответствии с ГОСТ 17216-2001.

Для каждого класса чистоты были определены расчетная и экспериментальная интегральные функции распределения. Максимальное расхождение значений функций составило 3,421 % для 3 класса чистоты. Среднее расхождение для всех классов составило 2,2 %.

Сопоставление результатов показало, что для классов чистоты с 3 по 12 определяемый параметр A , из интегральной функции распределения, приблизительно равен 1, а для классов с 13 по 15 приближается к 2. Это обусловлено тем, что распределение частиц сдвинуто в область больших размеров частиц (количество мелких частиц не нормируется), что влияет на параметры распределения.

Наибольший размер частиц, определяющих максимальные пробивные напряжения в стандартном разряднике, для каждого из классов чистоты установлен с учетом условия: количество частиц в 100 см^3 должно составлять не меньше 50, которое обеспечит нахождение хотя бы одной частицы заданного размера между электродами разрядника. Из ГОСТ 17216-2001 видно, что с увеличением класса чистоты, наибольший размер частиц, количество которых больше 50, так же увеличивается.

В аналитической работе определено, что для класса номинального напряжения 110 кВ (13 класс чистоты) пробивное напряжение 35 кВ в соответствии с РД 34.45-51.300-97 определяется частицами, размер которых 200 мкм. При расчетах было учтено, что коэффициент кратности по стандарту США равен 1,333, а в нашей стране, по результатам эксплуатационных испытаний, может достигать до 2 – 3. С учетом этого получили, что пробивное напряжение 70 кВ для 13 класса чистоты соответствует размеру частиц 100 мкм. Аналогичным образом были определены размеры частиц для всех рассматриваемых классов чистоты (с 3 по 15).

Анализ результатов показал, что с улучшением качества жидкости (номер класса чистоты уменьшается) размеры допустимых частиц, определяющих пробивные напряжения жидкостей, уменьшаются.

А.А. Жолобов, студ.;
Г.А. Филиппов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ВВОДОВ С RIP-ИЗОЛЯЦИЕЙ

Цель теплового расчета: определение температуры установившегося режима в верхней и нижней частях ввода.

Внутренняя изоляция вводов RIP-изоляцией состоит из двух компонентов: крепированной бумаги и эпоксидного компаунда.

Крепированная бумага обладает высокой гибкостью и способна растягиваться в продольном направлении на 50 – 70 %.

Эпоксидный компаунд изготавливается из эпоксидной смолы с добавлением отвердителей. Компаунд обладает низким уровнем диэлектрических потерь и удобен в эксплуатации.

Из-за низкого уровня диэлектрических потерь, тепловой расчет вводов с RIP-изоляцией проводится без учета потерь в изоляции.

Для определения установившейся температуры используется уравнение теплового баланса ввода:

$$dQ_1 + dQ_2 - dQ_3 - dQ_4 = 0,$$

где dQ_1 – количество прироста тепла в элементе dx за счет аксиального теплового потока Q от более нагретого участка к менее нагретому (от трансформаторного масла по токоведущей трубе). Электроизолирующие элементы в осевом теплообмене не участвуют; dQ_2 – прирост тепла за счет внутренних источников тепла (тепло выделяющееся в центральной трубе из-за протекающего по ней тока, с учетом изменения проводимости); dQ_3 – количество тепла, расходуемое на нагрев ($dQ_3 = 0$ так как в установившемся режиме температура не изменяется); dQ_4 – количество тепла, отдаваемое токоведущей трубой в окружающую среду через изоляцию (в воздух для верхней части ввода и в масло для нижней части ввода).

В расчете учитывается, что RIP-изоляция нижней части ввода контактирует с верхними слоями трансформаторного масла (так как отсутствует фарфоровая крышка).

Уравнение решается с различными граничными условиями: для верхней части температура окружающей среды от 20 °С до 30 °С; для нижней части температура верхних слоев масла от 50 °С до 70 °С.

Результатом решения данного уравнения является установившаяся температура на поверхности изоляции ввода (фарфора в верхней части ввода и RIP-изоляции – в нижней).

*Ю.Е. Чумаков, магистр;
рук. В.Б. Харьковский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОЧНИК ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАСКАДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Такое устройство нашло широкое применение в телевизионной аппаратуре, медицинском оборудовании и в измерительной технике. Главной особенностью умножителя напряжения является возможность формировать напряжение до десятков и даже сотен тысяч вольт при токе нагрузки

до нескольких десятков миллиампер, и это при незначительных размерах и массе устройства.

В ходе научного исследования был создан макетный образец источника постоянного тока с каскадным выпрямителем на частоте 1000 Гц. Схема каскадного выпрямителя показана на рис. 1.

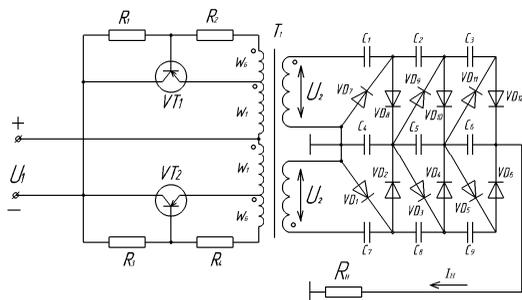


Рис. 1. Схема каскадного выпрямителя с транзисторным преобразователем

Эксперимент проводился с использованием одного, двух и трех каскадов.

Эксперимент показал, что использование высокой частоты существенно улучшает характеристики каскадного выпрямителя.

Библиографический список

1. Костиков В.Г., Никитин И.Е. Источник электропитания высокого напряжения РЭА. – М.: Радио и связь, 1986. – 200 с.
2. Додик С.Д., Гальперина Е.И. Источники электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет. – М.: Советское радио, 1969. – 448 с.

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

РЕГИСТРАЦИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Для предотвращения внезапных повреждений изоляции кабельных линий выполняют комплекс профилактических испытаний, включающих в себя как разрушающие испытания, так и щадящие. К щадящим испытаниям относятся измерение диэлектрических потерь, измерение и анализ возвратного напряжения и измерение характеристик частичных разрядов (ЧР).

ЧР возникают на участках изоляции, имеющих дефекты – проводящие и полупроводящие включения, газовые пузырьки, зоны увлажнения. С течением времени, периодически повторяющиеся ЧР разрушают изоляцию, приводя в конечном итоге к ее пробое.

При эксплуатации кабельных линий регистрация ЧР может осуществляться электрическими, акустическими и электромагнитными способами. Наиболее информативными из перечисленных способов являются электрические. Электрические способы измерения ЧР основываются на регистрации двух величин: импульсного снижения испытательного напряжения на электродах объекта и тока в цепи заземления контролируемого объекта, возникающих в момент ЧР.

Для измерения импульсных токов ЧР в кабельной линии используются трансформаторные датчики тока. Датчики тока могут устанавливаться как на токоведущие жилы кабельной линии, так и на заземляющие проводники, соединяющие экраны и защитные оболочки кабелей с заземлителем.

В зависимости от параметров кабельной линии частота токов ЧР находится в диапазоне от десятков килогерц до десятков мегагерц. Для регистрации таких токов магнитопроводы датчиков должны быть изготовлены из ферритов, однако готовые ферритовые магнитопроводы требуемых размеров промышленностью не выпускаются.

В работе исследованы амплитудно-частотные характеристики датчиков, магнитопроводы которых изготовлены непромышленным способом из смеси карбонильного железа с эпоксидным компаундом.

Установлено, что трансформаторные датчики токов ЧР с магнитопроводами из карбонильного железа, позволяют регистрировать токи в проводниках кабеля с бумажно-масляной изоляцией на напряжение 10 кВ, возникающие при имитации частичных разрядов.

С.А. Зенькевич, Е.С. Богданов, студ.;
рук. А.В. Вихарев, к.т.н., доц.,
О.А. Баженов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

УЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ANSYS MAXWELL

Одним из программных комплексов, применяемых при проектировании электроэнергетического оборудования и анализе режимов его работы, является ANSYS, включающий в себя программу для анализа электрических и магнитных полей ANSYS Maxwell. Встречаются задачи, при

решении которых встают вопросы моделирования систем с не линейными свойствами материалов, например, нелинейные ограничители перенапряжений. На данный момент в ANSYS Maxwell возможность учета нелинейности реализована при решении электромагнитных задач применительно к свойствам магнитных материалов. В тоже время существует возможность задать изменение свойств материала в зависимости от температуры.

В данной работе была предпринята попытка учесть нелинейную проводимость варистора для ОПН фирмы EPCOS, задавая эту характеристику в качестве параметрической функции при описании температурной зависимости материала. С использованием разработанной модели рассчитано изменение напряжения и тока в варисторе при номинальном напряжении и при повышенном напряжении. Как показали результаты вычислительного эксперимента, при номинальном напряжении в варисторе преобладает емкостный ток, а при перенапряжении резко увеличивается доля активной составляющей тока, что соответствует данным при эксплуатации ОПН.

На основе модели варистора была создана модель ОПН-КР/TEL-6/6.9 УХЛ2 с проводящим слоем загрязнения на крышке, рассчитан общий ток, проходящий через ОПН при рабочем напряжении, а также составляющие этого тока, проходящие отдельно через варистор, крышку и слой загрязнения. Расчеты показали, что ток, проходящий через ОПН при рабочем напряжении, составил 0,22 мА. Ток через варистор в процентном соотношении от общего тока составил 85 %, ток через слой загрязнения – 14 % и 1 % от общего тока протекает через крышку. Разработанная модель ОПН позволяет изучать влияние конструктивных элементов ОПН и условий эксплуатации на токи в варисторе, а, следовательно, есть возможность оценки теплового режима, процессов при старении варистора и изменения показателей надежности ОПН.

С.А. Зенькевич, Е.С. Богданов, студ.;
рук. А.В. Вихарев, к.т.н., доц.,
М.В. Прусаков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ДИАГНОСТИКЕ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ

В настоящее время в городских электрических сетях доля силовых кабелей со сроком службы свыше 30 лет составляет более 70 %. При этом применяемые в эксплуатации методы оценки состояния кабельных систем не достаточно эффективны. Слабое внимание отводится методам испытаний на основе контроля электрофизических характеристик изоляции,

а именно ее сопротивления, емкости и тангенса угла диэлектрических потерь. Необходимо совершенствовать подходы к диагностике состояния кабельной изоляции. Однако это требует решения дополнительных задач, связанных с изучением электрофизических процессов в изоляции, разработки приборной базы для реализации новых методик проведения испытаний, подготовки квалифицированных специалистов для электроэнергетики.

Для решения отмеченных выше задач на кафедре ВЭТФ ИГЭУ создается научно-исследовательской лабораторный стенд «Полигон для диагностики изоляции высоковольтных силовых кабелей». В настоящее время в состав стенда входит участок высоковольтного кабеля, соединительная и концевая кабельные муфты, оборудование для проведения измерения диэлектрических характеристик изоляции и реализации методов импульсной рефлектометрии.

В рамках расширения функциональных возможностей создаваемого Полигона разрабатываются мероприятия по объединению его со стационарным учебным стендом по контролю диэлектрических характеристик изоляции. Это позволит более масштабно подходить к решению задачи по подготовке специалистов для электроэнергетики. Разрабатывается схема низковольтной части установок для обеспечения безопасности при параллельной работе стендов.

Также на участке кабельной ЛЭП создаются зоны для измерения параметров изоляции отдельных элементов линии, а именно кабеля, соединительной муфты, концевой муфты. Это позволит изучать зависимость контролируемых параметров изоляции кабельной ЛЭП от параметров изоляции ее элементов.

Таким образом, указанный лабораторный стенд позволит комплексно изучить процессы в кабельной изоляции и методы диагностики кабелей.

А.А. Мельников, студ.;
рук. Ю.М. Смирнова, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРЕИМУЩЕСТВА ТВЕРДОЙ ВНУТРЕННЕЙ RIP-ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ

Важной частью высоковольтного ввода является его внутренняя изоляция, которая определяет его надежность и внутренний ресурс. Твердая RIP изоляция обладает рядом преимуществ по сравнению с наиболее распространенной на бумажно-масляной изоляцией:

1. Лучшие характеристики изоляции:
 - термическая стойкость,

- низкий уровень частичных разрядов (меньше 5 пкл),
 - низкие диэлектрические потери (0,45 %),
 - отсутствие газовых включений в остове.
2. Удобство эксплуатации ввода (из-за отсутствия масла внутри конструкции):
- повышенная механическая стойкость и масса вводов (в связи с отсутствием фарфоровой крышки),
 - пожаро- и взрывобезопасность,
 - не требует дополнительного контроля изоляции (пробы масла на наличие влаги),
 - унифицированная конструкция ввода.
3. Высокая ударпрочность и сейсмостойкость.
4. Длительный срок эксплуатации.

Российская компания ЗАО «Мосизолятор» выпускает вводы с RIP-изоляцией на класс напряжения 110 – 220 кВ с 2004 года, и на сегодняшний день качество их продукции соответствует мировым стандартам.

Высоковольтные вводы с твердой RIP-изоляцией являются наилучшим видом проходных изоляторов, как с точки зрения характеристик изоляции и надежности, так и с точки зрения эксплуатационных издержек и экологии.

Библиографический список

1. **Славинский, А.З.** Физика диэлектриков. Т. 1: Высоковольтная изоляция энергетической аппаратуры. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2007. – 327 с.
2. **Разработки** и постановка на серийное производство высоковольтных вводов с твердой внутренней RIP-изоляцией на классы напряжения 110 – 220 кВ в период 2002 – 2005 гг. / А.З. Славинский [и др.] // Электро. – 2006. – Вып. 3 – С. 8 – 13.

*С.В. Разумов, Д.Е. Венецкий;
рук. Г.А. Филиппов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВВОДОВ С RIP-ИЗОЛЯЦИЕЙ

Вводы с твердой изоляцией обладают рядом преимуществ по сравнению с БМИ: пожаробезопасный, не содержит масла (устранена вероятность возгорания ввода, удобство при установке), уменьшена масса и габариты, удобство при транспортировке и монтаже, проще и дешевле их эксплуатация, необходимость измерения лишь $\tan \delta$ и C_1 .

Основу внутренней изоляции составляет изоляционный остов, выполненный из более современных материалов: намотка производится крепи-

рованной бумагой (фирм «WEIDMANN ElectricalTechnology AG» (Швейцария) или «KarlFislageGmbH&Co KG» (Германия)) с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{r1} = 3$, для пропитки применяется эпоксидный компаунд, который является собственной разработкой предприятия ООО «Масса». Наиболее сложной задачей при проектировании высоковольтных вводов является определение оптимальных значений рабочей и испытательной напряженностей, которая обусловлена недостаточным уровнем современных знаний физических процессов, определяющих уровень кратковременной и длительной электрических прочностей. Поэтому достоверные сведения для решения вышеназванной проблемы могут быть получены только на основании экспериментов. Для обеспечения заданной надежности (0.95) за срок службы ($\tau = 30$ лет) необходимо в расчетах при существующей технологии изготовления принимать $E_{\text{раб}}$ среднее по слою изоляции не более $3 - 3.3$ кВ/мм, при этом должны быть выполнены технические решения, которые позволяют снижать краевой эффект, а следовательно и $E_{\text{раб_доп}}$.

На сегодняшний день высоковольтные вводы с БМИ активно заменяются вводами с твердой RIP-изоляцией. Завод «Изолятор» активно выпускает высоковольтные вводы с RIP-изоляцией до 500 кВ, так же ведется активная разработка технологии создания вводов вплоть до 1150 кВ.

Библиографический список

1. **Факторы**, влияющие на электрическую прочность внутренней RIP-изоляции высоковольтных вводов конденсаторного типа / А.З. Славинский, С.Д. Кассихин, В.Н. Устинов [и др.]. – М., 2012. – 4 с.

Содержание

Секция 13. Электрические системы

<i>Аверьянов Г.В., Колесник И.В., рук. Тишков А.А.</i> Контроль состояния изоляции электрических сетей до 1000 В	4
<i>Андреев А.Ф., рук. Бладыко Ю.В.</i> Решение уравнения состояния провода с учетом сосредоточенной нагрузки	5
<i>Говорин В.В., Каюмов А.Г., рук. Гусев Ю.П.</i> Моделирование систем тиристорного самовозбуждения в программе MATLAB	6
<i>Касимов В.А., рук. Минуллин Р.Г., Филимонова Т.К.</i> Исследование предельной чувствительности высокочастотного тракта воздушных линий электропередачи	7
<i>Кузнецова Н.Д., Митрофанов С.В.</i> Влияние активных потребителей на уровень потерь в энергосистеме	8
<i>Марченко А.И., рук. Фишов А.Г.</i> Интеллектуальный учёт системных эффектов при синхронной работе малой генерации в электрической сети	9
<i>Петров М.И., рук. Рашитов П.А., Панфилов Д.И.</i> Исследование трансформаторных устройств продольной компенсации	10
<i>Маслакова Г.В., рук. Чащин Е.А.</i> Условия пуска асинхронного двигателя от аккумуляторной батареи	11
<i>Мурашкина И.С., рук. Танфильева Д.В., Марченко А.И., рук. Фишов А.Г.</i> Исследование режимов энергосистемы Казахстана при внедрении распределенной малой генерации	12
<i>Петров М.И., рук. Рашитов П.А., Панфилов Д.И.</i> Система управления трансформаторным устройством продольной компенсации на отечественной элементной базе	13
<i>Саубанов Р.И., рук. Гарифуллин М.Ш.</i> Развитие концепции системы контроля устройств РПН силовых трансформаторов	14
<i>Тукаев С.М., рук. Хузяшев Р.Г.</i> Исследование параметров дисперсии сигналов переходного процесса в линиях электропередачи	15
<i>Ширяев А.С., рук. Гиришин С.С.</i> Определение минимума приведённых затрат при снижении потерь электроэнергии в электрических сетях	16
<i>Горбунов И.А., Мельникова П.О., Зотова М.В., рук. Мартиросян А.А.</i> Устойчивость ЭЭС с управляемыми устройствами продольной и поперечной компенсации	17
<i>Градов Н.А., Скоропеева Е.С., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Влияние состава и мощности нагрузки на статическую устойчивость ЭЭС	18
<i>Евтифьев Я.Н., рук. Братолобов А.А.</i> Исследование явления самовозбуждения синхронного генератора в ЭЭС	19
<i>Егоров В.А., рук. Бушуева О.А.</i> Сравнительный анализ результатов механического расчета проводов воздушных линий электропередачи	20
<i>Зотова М.В., Гаспарян И.А., Гордеева А.Р., рук. Мартиросян А.А.</i> Анализ влияния законов регулирования управляемых распределенных устройств продольной компенсации на КПД линии	21
<i>Коротков Н.С., рук. Кулешов А.И.</i> Моделирование пункта автоматического регулирования напряжения в программном комплексе «Энергия»	22

<i>Кривчикова А.С., рук. Братолобов А.А.</i> Верификация методики ФСК для оценки наведенного напряжения в отключенных ВЛ	23
<i>Кузнецов Н.Г., рук. Бушуева О.А.</i> Оценка эффективности применения управляемой самокомпенсирующейся воздушной линии электропередачи в Вологодской энергосистеме	24
<i>Муравьева Е.Н., рук. Братолобов А.А.</i> Метод расчета результирующего сопротивления при продольной несимметрии в ЭЭС	25
<i>Наумов В.О., Мошелёва А.Н., рук. Мурзин А.Ю.</i> Идентификация параметров силовых двухобмоточных трансформаторов на базе синхронизированных векторных измерений	26
<i>Пшеничникова А.А., Лодыгина Л.А., Климова Ю.Д., рук. Мартиросян А.А.</i> Влияние законов регулирования управляемых распределенных устройств продольной компенсации на апериодическую статическую устойчивость ЭЭС	26
<i>Сидоров А.В., Молчагина К.Д., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Обновление технического комплекса для выполнения лабораторных работ	27
<i>Степанов А.Д., рук. Братолобов А.А.</i> Программные средства для исследования переходных режимов ЭЭС на ЭВМ	28
<i>Зотова М.В., Чуркина Ю.О., рук. Мартиросян А.А.</i> Исследование влияния распределенных управляемых устройств продольной емкостной компенсации на колебательную статическую устойчивость ЭЭС	29
<i>Калуцков А.В., рук. Голов В.П.</i> Перспективные режимы электрической сети с линиями повышенной пропускной способности	30
<i>Шибачев Ю.С., Чистякова С.В., рук. Мартиросян А.А.</i> Влияние законов регулирования управляемых распределенных устройств продольной компенсации на динамическую устойчивость ЭЭС	31

Секция 14. Электроснабжение

<i>Абдуллозода М.Б., рук. Каландаров Х.У.</i> Энергосбережение в системе освещения аудитории учебного корпуса	33
<i>Абрамченко Е.В., Харитонова Н.П.</i> Перспективы цифровизации распределительного электросетевого комплекса России	34
<i>Булычева Е.А., рук. Яиченко С.А.</i> Экспериментальная оценка фактического вклада потребителей в общий уровень несинусоидальности напряжения сети	35
<i>Викулин А.И., рук. Жданович А.А.</i> Оценка возможности использования электромобилей в Новосибирске	36
<i>Демидова А.С., Пронина О.А., рук. Лоскутов А.Б.</i> Определение числа и мест подключения твердотельных регуляторов напряжения в распределительной сети	37
<i>Крюков Е.В., Еременко В.В., рук. Соснина Е.Н.</i> Исследование параметров режима распределительной электрической сети 6 – 20 кВ с ТРВДН	38
<i>Исмоилов И.И., рук. Каландаров Х.У.</i> Анализ потерь напряжения в городских распределительных сетях	39
<i>Каркоцкий Д.В., Колчин Е.В., Каледа А.Е.</i> Структурно-параметрический синтез систем автономного электроснабжения	40
<i>Кечкин А.Ю., Эрдили Н.И., рук. Шалухо А.В.</i> К вопросу об определении «виртуальной электростанции»	41

<i>Липужин И.А., Шумский Н.В., Ворошилов А.А., рук. Шалуха А.В.</i> Лабораторный стенд для изучения режимов работы виртуальной электростанции с источниками малой генерации	42
<i>Менжинский А.Б., Колчин Е.В., рук. Малашин А.Н.</i> Структурно-параметрический синтез генератора комбинированной конструкции для энергоустановки на базе свободнопоршневого двигателя	43
<i>Обидов А.Н., рук. Лебедев Г.М.</i> Анализ потерь энергии городских потребителей	44
<i>Пюро Л.А., Шумский Н.В., рук. Гардин А.И.</i> Разработка физической модели участка РЭС среднего напряжения с ТРВДН	45
<i>Родцевич М.П., Курьяков Е.В., рук. Тишков А.А.</i> Разработка устройств защиты систем автономного электроснабжения от мощных электромагнитных излучений	46
<i>Рожина М.А., рук. Бурянина Н.С.</i> Отбор мощности от линий электропередачи 110 кВ и выше для удаленных потребителей «малой» мощности	47
<i>Уколова Е.В., Шушпанов И.Н., рук. Суслов К.В.</i> Оценка состояния активных сетей	48
<i>Уколова Е.В., Герасимов Д.О., Потапов В.В., рук. Суслов К.В.</i> Интегрированные интеллектуальные системы	49
<i>Юдин А.В., Илинбаев А.А., рук. Иванова В.Р.</i> О выборе вторичной оптики для светодиодных источников света	50
<i>Аль-Ашваль С.Х., рук. Бушуева О.А.</i> Перспективы использования возобновляемых источников электроэнергии в Республике Йемен	51
<i>Захаров Н.Е., рук. Шульпин А.А.</i> Основные направления организации работы по электросбережению на энергетических объектах	52
<i>Коробкова А.Е., рук. Шульпин А.А.</i> Применение батарей конденсаторов для компенсации реактивной мощности и повышения качества электрической энергии в системах электроснабжения	53
<i>Кузнецова Ю.А., рук. Сорокин А.Ф.</i> Исследование влияния параметров внешней сети на режим работы дуговой сталеплавильной печи	54
<i>Молчагина К.Д., рук. Сорокин А.Ф.</i> Определение влияния высших гармоник, возникающих при работе ДСП, на качество напряжения питающей сети	55
<i>Тихомирова К.А., рук. Бушуева О.А.</i> Влияние источника малой генерации на токи короткого замыкания питающих центров городской электрической сети	56
<i>Альсабахи Амин Салех, рук. Бушуева О.А.</i> Прогнозирование электропотребления промышленных предприятий	57
<i>Факия Х.М., рук. Сорокин А.Ф.</i> Исследование перспектив развития ветроэнергетики Республики Йемен	58
Секция 15. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем	
<i>Аграфенин Е.А., рук. Шахнин В.А.</i> Применение модульных автоматических выключателей для управления электроустановками низкого напряжения	60
<i>Алексеев Л.Л., рук. Вуколов В.Ю.</i> Определение поврежденных присоединений при однофазном замыкании на землю в сетях 6 – 35 кВ	61

<i>Буянбаатар Б., Гиёев Б.М., рук. Арцишевский Я.Л. Моделирование работы САОН по данным энергосистемы Монголии</i>	62
<i>Ворошилов А.А., рук. Шарыгин М.В., Куликов А.Л. Автоматика отключения трансформаторов</i>	63
<i>Гиёев Б.М. Учет влияния провалов в сети при выборе уставок по времени в канале реализации команд АЧР</i>	64
<i>Дагдаваа Б., рук. Арцишевский Я.Л. Эффективность однофазного АПВ на ВЛ 220 кВ в Монголии</i>	65
<i>Колесников А.А., Вуколов В.Ю., рук. Куликов А.Л. Использование информационной избыточности в централизованных защитах для предотвращения срабатываний при насыщениях трансформаторов тока</i>	65
<i>Колобанов П.А. Повышение чувствительности дистанционной защиты путем учета дополнительных параметров нагрузки</i>	66
<i>Корякина М.Л., рук. Королюк Ю.Ф. Определение погрешностей при разных алгоритмах обработки выбора токов</i>	67
<i>Майстренко Г.В., рук. Обалин М.Д. Применение процедуры «поиска в глубину» для повышения точности ОМП ЛЭП</i>	68
<i>Пелевин П.С., Лоскутов А.А., рук. Куликов А.Л. Метод волновой РЗА, комбинирование с традиционными защитами</i>	69
<i>Родригез Д.Л., рук. Климова Т.Г. Сопоставление различных видов автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов в сертификационных испытаниях</i>	70
<i>Шарафеев Т.Р., рук. Куликов А.Л. Метод выявления кибернападений на систему управления и защиты линии электропередач на основе классификатора Байеса</i>	71
<i>Юдина А.А., рук. Шишков Е.М. Проблема замкнутого алгебраического контура при моделировании УШР</i>	72
<i>Воробьева Е.А., рук. Шуин В.А., Шадрикова Т.Ю. Способ повышения динамической устойчивости функционирования адмитансных защит от замыканий на землю в кабельных сетях 6 – 10 кВ</i>	73
<i>Воропаев А.С., рук. Лебедев В.Д., Колесов Л.М. Реализация дистанционной защиты в multifunctionальной системе на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровых подстанций</i>	74
<i>Кутумов Ю.Д., рук. Лебедев В.Д. Исследование возможности применения полиимидной изоляции в трансформаторах тока</i>	75
<i>Лебедева Д.А., рук. Фролова О.В. Исследование токовой защиты нулевой последовательности блока линия-трансформатор</i>	76
<i>Лебедева Н.В., рук. Яблоков А.А., Лебедев В.Д., Шуин В.А. Исследование частотных характеристик первичных преобразователей на основе резистивных делителей напряжения и электромагнитного трансформатора</i>	77
<i>Меркулов А.Ю., рук. Лебедев В.Д. Реализация дифференциальной защиты в multifunctionальной системе на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровых подстанций</i>	78
<i>Синицын С.А., Холопов И.Е., рук. Фомичев А.А. Разработка алгоритмов увеличения чувствительности токовых защит</i>	79

<i>Шарыгин Д.С., Строгов В.А., рук. Филатова Г.А.</i> Экспериментальное исследование нетрадиционных датчиков тока для решения задачи определения места повреждения	80
<i>Тимофеев А.С., рук. Яблоков А.А., Филатова Г.А.</i> Использование цифровых трансформаторов для решения задачи определения места повреждения	81
<i>Тихомирова М.В., рук. Фролова О.В.</i> Влияние погрешностей трансформаторов тока на ток небаланса в дифференциальной защите	82
<i>Фролова Т.Е., рук. Шуин В.А.</i> Анализ факторов, влияющих на чувствительность дистанционной защиты при несимметричных коротких замыканиях за трансформаторами понизительных подстанций	83
<i>Соколов В.А., Харахнин М.А., рук. Алексинский С.О.</i> Моделирование процессов перемагничивания магнитопровода трансформатора тока с учетом глубокого насыщения	84
<i>Харахнин М.А., Соколов В.А., рук. Алексинский С.О.</i> Цифровая коррекция погрешностей, вызванных насыщением магнитопровода электромагнитного трансформатора тока для устройств релейной защиты	85
<i>Хованова И.С., рук. Фролова О.В.</i> Исследование амплитудного и фазового выравнивания в дифференциальной защите трансформатора	86
<i>Шакирьянов А.В., рук. Фролова О.В.</i> Исследование функционирования дифференциальной защиты при изменении пределов регулирования силового трансформатора	87

Секция 16. Электротехника и электротехнологии

<i>Бондарева Н.В., рук. Данилушкин А.И.</i> Электронагревательный комплекс в линиях транспортировки нефти	90
<i>Шаповалов А.С., рук. Дунаева Т.Ю.</i> Симуляция источника питания СВЧ электротехнологической установки	91
<i>Докучаев В.С., рук. Кожевников В.Ю.</i> Электротехнология интенсификации процесса получения пеностекла энергией СВЧ-поля	92
<i>Степаненко В.В., рук. Кожевников В.Ю.</i> Разработка технологии дезинсекции пищевых продуктов энергией СВЧ поля	93
<i>Большаков А.О., рук. Марков М.Г.</i> Микропроцессорная система измерения параметров индукционного нагрева	94
<i>Туренкова Е.Н., рук. Долгих И.Ю., Корюкин Л.Б.</i> Моделирование индукционного нагрева плоских поверхностей в программе COMSOL MULTIPHYSICS	95
<i>Шутенко Д.А., рук. Мартынов В.А.</i> Перспективы сварочных трансформаторов для дуговой сварки	96
<i>Шувалов С.В., рук. Алейников А.В.</i> Разработка и исследование цифрового инверторного источника питания для дуговой сварки	97
<i>Праздников С.Н., рук. Куликов К.В.</i> Подавление резонансных явлений в импульсных источниках питания	98
<i>Снитзько И.С., рук. Мартынов В.А.</i> Применение символического метода для анализа режимов работы многообмоточных силовых трансформаторов	99
<i>Бодрягин А.Ю., рук. Голубев А.Н.</i> Векторное управление асинхронным электроприводом для сварочных робототехнологических комплексов	100

<i>Хлопонин П.О., рук. Зеленко В.В.</i> Определение качества обмоток статоров асинхронных двигателей по АЧХ	101
<i>Рыбин А.Г., рук. Савенко А.Е.</i> Исследование работы АРТП «Ахиллеон» от сети с некачественным напряжением	102
<i>Солодунова А.Н., Солодунов А.В., рук. Савенко А.Е.</i> Современные методы модернизации электрических сетей	103
<i>Ионова В.И., рук. Андрианов Д.П.</i> Частотный анализ влияния магнитного гистерезиса трансформатора на качество переменного тока	104
<i>Титова А.О., Садыков М.Ф.</i> Совмещение альтернативных и традиционных источников энергии	105
<i>Зайнетдинов А.Т., рук. Воркунов О.В.</i> Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи	106
<i>Савиных М.А., рук. Ю.А. Пасынков</i> Автоматизированный стенд контроля функционирования счетчиков электроэнергии	106
<i>Зуйкова Я.В., рук. Сайкин М.С.</i> Численное исследование распределения магнитной индукции магнитожидкостного герметизатора вакуумной дуговой печи	107
<i>Савинова М.И., рук. Сайкин М.С.</i> Численное исследование герметичных вращающихся вводов электротехнологических установок электроннолучевой сварки	108
<i>Шишкина Е.С., рук. Сайкин М.С.</i> Пути повышения стабильности эксплуатационных характеристик магнитожидкостных герметизаторов	109
<i>Федосеева В.П., рук. Сайкин М.С.</i> Анализ и разработка конструкций датчиков вибрации	110

Секция 17. Электроэнергетика: прошлое, настоящее, будущее

<i>Никулин К.В., рук. Жданович А.А.</i> Свалочный газ: малая генерация в Новосибирской области	113
<i>Постникова Д.О., рук. Семенова К.В.</i> Поиск альтернативных источников электроэнергии	114
<i>Россов И.В., рук. Жданович А.А.</i> Исследование возможности переноса производств в регионы с повышенной инсоляцией	115
<i>Хованова И.С., рук. Савельев В.А.</i> Проблемы и перспективы развития электроэнергетики РФ	116

Секция 18. Электрооборудование и режимы электрических станций и подстанций

<i>Андреев А.Ф., рук. Бладыко Ю.В.</i> Расчет статики проводов с учетом сосредоточенной нагрузки	118
<i>Чеботарёв А.Д., рук. Гарифуллин М.Ш.</i> Перспективы развития систем диагностики силовых трансформаторов	119
<i>Леонов Н.В., рук. Чо Г.Ч.</i> Расчет токов короткого замыкания от генераторов ветроэлектростанций	119
<i>Низамиев М.Ф.</i> Измерительно-диагностический комплекс для бесконтактного вибрационного контроля трансформаторов	120

<i>Преймак А.Ю., рук. Левин В.М.</i> О влиянии искажений напряжения в системе электроснабжения на долговечность ее элементов	121
<i>Нгуен Тиен, рук. Гильфанов К.Х.</i> Моделирование нестационарных тепловых режимов трансформатора в программном комплексе ANSYS MAXWELL	122
<i>Гончаров А.С., рук. Лапшин В.М.</i> Учет влияния магнитной связи между статорными обмотками при расчетах аварийных режимов шестифазного генератора	124
<i>Груздова Е.С., рук. Савельев В.А.</i> Задачи и проблемы повышения эффективности солнечных элементов	125
<i>Колганов Н.С., рук. Савельев В.А.</i> Эффективные способы энергосбережения в сфере информационных технологий	126
<i>Новоселов Е.М., Коновалов Н.Н., рук. Веселова И.Е., Скоробогатов А.А.</i> Контроль состояния «беличьей клетки» электродвигателя по гармоникам от токов фиктивной обмотки ротора	127
<i>Кукушкина С.В., рук. В.А. Савельев</i> Оценка эффективности солнечной энергетики и способы её повышения	128
<i>Леонтьева А.Ю., рук. Лапшин В.М.</i> Упрощенный метод определения периодической составляющей тока КЗ синхронного генератора к произвольному моменту времени	129
<i>Луныков И.А., рук. Ильчечев Н.Б.</i> Моделирование защитных характеристик автоматических выключателей с учетом токоограничения	130
<i>Луныков И.М., Страхов А.С., рук. Новоселов Е.М.</i> Методика проведения контроля состояния обмотки ротора асинхронного электродвигателя	131
<i>Мельникова П.О., рук. Савельев В.А.</i> Мировые тенденции развития солнечной генерации	132
<i>Молчагина К.Д., рук. Савельев В.А.</i> Повышение энергоэффективности промышленных производств	132
<i>Наумов В.О., Мошелёва А.Н., рук. Савельев В.А.</i> Электромобиль – транспорт будущего	133
<i>Новоселов Е.М., Полкошников Д.А., рук. Скоробогатов А.А.</i> Исследование влияния эксплуатационных факторов на внешнее магнитное поле асинхронного электродвигателя	134
<i>Пирогова В.И., рук. Савельев В.А.</i> Управление нагрузкой потребителей как фактор эффективности работы электрической сети	135
<i>Сахаров А.М., Кофтаев Н.С., рук. Савельев В.А.</i> Комплексная оценка технического состояния электрооборудования	136
<i>Самсонов А.В., рук. Савельев В.А.</i> Анализ способов коммутации в преобразователях систем ППТ	137
<i>Святов А.А., Савельев В.А.</i> Состояние проблемы и перспективы развития электромобильного транспорта	138
<i>Сопин Е.Г., Лапшин В.М.</i> Оптимальная загрузка силовых трансформаторов на электрических подстанциях	139
<i>Страхов А.С., Новоселов Е.М., рук. Веселова И.Е., Скоробогатов А.А.</i> Использование внешнего магнитного поля для контроля состояния обмотки ротора двигателя при пуске	140

<i>Смулова Т.С., рук. Сулыненков И.Н.</i> Анализ методик определения индекса технического состояния оборудования	141
<i>Учеваткин Д.А., рук. Савельев В.А.</i> Интеллектуальная энергосистема с активно-адаптивной сетью	142
<i>Фрог Д.Л., рук. Савельев В.А.</i> Определение параметров схемы замещения обмоток трансформаторов для их диагностирования	143
<i>Фрог Д.Л., рук. Савельев В.А.</i> Космические солнечные электростанции	144
<i>Тихомирова К.А., рук. Савельев В.А.</i> Локальные энергосистемы MICROGRID – основные элементы малой распределенной энергетики	144
<i>Тихомирова М.В., рук. Савельев В.А.</i> Централизованная релейная защита подстанций 110/35/6 кВ	145
<i>Чистяков А.Д., рук. Сулыненков И.Н.</i> О целесообразности применения ремонтных перемычек для мостиковых схем распределительных устройств	146
<i>Шмельёва О.Ю., рук. Сулыненков И.Н.</i> Разработка лабораторного стенда «Режимы работы ветроустановок»	147

Секция 19. Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

<i>Аграфенин Е.А., рук. Чебрякова Ю.С.</i> Применение композитных опор для линий освещения автомобильных дорог	150
<i>Быстрых В.В., рук. Качесов В.Е.</i> Система локации дефектов фазной изоляции для распределительных воздушных сетей 6 – 35 кВ	151
<i>Житин М.С., рук. Сироткина Т.И., Сорокин А.Ф.</i> Наблюдение левитации на физической модели «Левитрон-2»	152
<i>Лаптева А.А., рук. Петрова Н.Ф.</i> Исследование коммутационной способности генераторных выключателей в сетях ТЭЦ	153
<i>Финашин Р.А., рук. Качесов В.Е.</i> Устройство импульсного резистивного заземления сетей 6 – 35 кВ	154
<i>Финашин Р.А., рук. Качесов В.Е.</i> Низковольтная лабораторная модель сети 6 – 35 кВ	155
<i>Чернышов Ю.А., рук. Мюльбаер А.А.</i> Разработка внутренней изоляции измерителей наведенного напряжения	156
<i>Шутович А.Ю., рук. Качесов В.Е.</i> Измерение наводок при перекрытиях нулевых изоляторов ВЛЭП	157
<i>Алексеев В.А., рук. Шадриков Т.Е.</i> Применение полиимидной изоляции в ЦТТН	158
<i>Сентюров Д.С., рук. Словесный С.А.</i> Расчет электродной системы соединительного конденсатора схемы регистрации частичных разрядов	159
<i>Бачурина А.Д., Папина А.С., рук. Шадриков Т.Е., Соколов А.М.</i> Моделирование элементов электротехнического комплекса повышенной частоты в SIMULINK	160
<i>Дьячков А.А., рук. Соколов А.М.</i> Расчёт параметров силового трансформатора повышенной частоты по критерию минимальных потерь	160
<i>Жолобов А.А., Мельникова О.С.</i> Влияние размера частиц примесей на пробивное напряжение трансформаторного масла	161
<i>Жолобов А.А., Филиппов Г.А.</i> Особенности теплового расчета вводов с RIP-изоляцией	162

<i>Чумаков Ю.Е., рук. Харьковский В.Б.</i> Источник постоянного тока высокого напряжения с использованием каскадного выпрямителя	163
<i>Зимаков М.Е., рук. Словесный С.А.</i> Регистрация частичных разрядов в изоляции кабельных линий	164
<i>Зенькевич С.А., Богданов Е.С., рук. Вихарев А.В., Баженов О.А.</i> Учет нелинейных свойств материалов при моделировании ограничителя перенапряжений в ANSYS MAXWELL	165
<i>Зенькевич С.А., Богданов Е.С., рук. Вихарев А.В., Прусаков М.В.</i> Электротехническая лаборатория по диагностике изоляции высоковольтных кабелей	166
<i>Мельников А.А., рук. Смирнова Ю.М.</i> Преимущества твердой внутренней RIP-изоляции высоковольтных вводов	167
<i>Разумов С.В., Венецкий Д.Е., рук. Филиппов Г.А.</i> Основы электрического расчета вводов с RIP-изоляцией	168

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭНЕРГИЯ-2018»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 3

*Составители Макаров А.В., Шадриков Т.Е.
Компьютерная верстка Фомичевой А.В.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать 26.02.2018. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,46.
Тираж 100 экз. Заказ № .
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.