



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

Академия электротехнических наук РФ



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА «ЭНЕРГИЯ-2021»

**ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 6 - 8 апреля 2021 года

ТОМ 3

ИВАНОВО

ИГЭУ

2021

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2021»: материалы конференции. В 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2021. – 130 с.

ISBN 978-5-00062-478-4

ISBN 978-6-00062-473-9 (Т.3)

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: Тютиков В.В., проректор по научной работе ИГЭУ.

Зам. председателя: Макаров А.В., начальник управления НИРС и ТМ.

Члены научного комитета: Плетников С.Б. – декан ТЭФ; Кабанов О.А. – декан ИФФ; Мурзин А.Ю. – декан ЭЭФ; Крайнова Л.Н. – декан ЭМФ; Маршалов Е.Д. – декан ИВТФ; Карякин А.М. – декан ФЭУ.

Ответственный секретарь: Сидоров А.А.

Координационная группа: Вольман М.А., Мошкарина М.В., Смирнов Н.Н., Сидоров А.А., Шадриков Т.Е., Шмелева Т.В.

СЕКЦИЯ 13
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

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

Секретарь – к.т.н., доцент **Иванов И.Е.**

Т.И. Халилова, студ.;
А.С. Халилов, асс.
(ФерГУ и ТашГТУ, г. Ташкент)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ К ФАКТИЧЕСКИМ ЗНАЧЕНИЯМ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАСЧЁТЕ

Для обеспечения надежного функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС), при управлении параметрами электрических режимов дежурные диспетчеры системных операторов по данным телеметрии непрерывно следят за допустимыми значениями узких мест. В зависимости от конкретных условий, в качестве контролируемых параметров могут использоваться перетоки активной мощности в контролируемых сечениях энергосистем или значения напряжений в узлах нагрузки.

При решении этих задач, в целях повышения качества и надежности исходной информации, а также улучшения качества и надежности управления используются статистические подходы, реализуемые в виде алгоритмов обработки исходной информации [1].

Основным фактором при планировании режима в энергосистеме являются данные, собираемые телеизмерениями. На практике существует множество методов проверки и фильтрации точности телеизмерений. Среднее значение телеизмерений при расчете режима не используется на практике. Причина заключается в том, что после фильтрации определяется математическое ожидание, полученное от телеизмерений. Путем определения дисперсии можно вычислить среднее значение для использования при расчете режима по значениям до среднего квадратичного отклонения. При расчете среднего значения параметра, используются данные телеизмерений полученные в начале и конце линии. Полученные значения принимаются в течение 5-10 минут. Значения проверяются на сходимость с расчетными параметрами. Проведя несколько экспериментов, результаты показывают, что использование среднего значения параметров режима приближает параметры режима к фактическим значениям.

Библиографический список

1. **A Khalilov and A Mirzaev.** Validity of use in assessment of the state of the electric power system. 2020 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **614** 012012.

*А.И. Рустамова, к.т.н., доц. (КИУ г. Казань);
И.Р. Казбакова, студ.;
рук. И.Н. Маслов, к.т.н., доц.
(КГЭУ г. Казань)*

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ

В ходе исследований было выявлено, что в многоквартирных домах и коттеджных поселках значения реактивной мощности выше нормативных требований (в электрических сетях напряжением 0,4кВ коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\phi=0.35$), это связано с широким применением населением электроприборов с нелинейной нагрузкой [1]. В результате чего возникают дополнительные потери, ухудшается качество электроэнергии [2].

Снижение $\text{tg}\phi$ путем установки конденсаторных батарей в многоквартирном доме и коттедже приводит к уменьшению тока через силовой трансформатор, что позволяет повысить электрическую нагрузку [3]. В некоторых случаях снижение $\text{tg}\phi$ позволит избежать реконструкцию трансформаторной подстанции с заменой силовых трансформаторов на больший номинал. Например, снижение общего тока в кабельной или воздушной линиях на 5% приводит к снижению потерь почти на 10%.

Для решения сложившейся ситуации предлагается установка компенсирующих реактивную мощность устройств с фильтрами высших гармоник во ВРУ многоквартирных домов и коттеджах. Как показал график изменения реактивной мощности, можно применять комбинированные компенсирующие устройства с установкой конденсаторов с постоянной и автоматически изменяющейся емкостью.

Необходимо, однако, учитывать стоимость приобретения, установки и обслуживания конденсаторов для обоснования экономического эффекта от их внедрения.

Библиографический список

1. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р.** Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. – С. 79-85.
2. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С.** Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. – С. 40-45.
3. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В.** Определение параметров симметрирующих трансформаторов // Промышленная энергетика. 2015. № 1. – С. 54-59.

*А.И. Рустамова, к.т.н., доц. (КИУ г. Казань);
И.Р. Казбакова, студ.;
рук. И.Н. Маслов, к.т.н., доц.
(КГЭУ г. Казань)*

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Федеральный закон от 27.12.2018 № 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с развитием систем учета электрической энергии в Российской Федерации» регламентирует переход на интеллектуальные счетчики, который должен завершиться к 2023 году. Республика Татарстан - одна из лидеров по реализации данного закона. Установкой интеллектуальных приборов учёта в Республике Татарстан занимаются АО «Татэнергосбыт» и ОАО «Сетевая компания». В течение 2019 года уже установлено более 130 000 интеллектуальных приборов учета.

Появление счетчиков с дистанционной передачей данных у всех потребителей является продолжением клиент-ориентированной политики, а также облегчает процесс сбора показаний для персонала компаний [1]. Автоматизация процесса позволяет свести к минимуму и коммерческие и технические потери [2].

Применение интеллектуальных систем учета электрической энергии позволит определять места с некачественной электроэнергией [3], сократить время поиска места повреждения, недобросовестного плательщика, места хищения электроэнергии в среднем с одного часа до 10-15 мин, что приведет к существенным экономическим результатам.

Сравнивая профили мощности, полученные от интеллектуальных счетчиков электроэнергии можно наблюдать несовпадение максимумов нагрузки. Профили нагрузки имеют характерные отличия, которые позволяют их классифицировать, рассчитывать типовые графики нагрузок для последующего выбора оборудования.

Библиографический список

1. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р.** Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики, 2011. № 5-6. – С. 79-85.
2. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С.** Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2011. № 9-10. – С. 40-45.
3. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В.** Определение параметров симметрирующих трансформаторов // Промышленная энергетика, 2015. № 1. – С. 54-59.

*М.А. Бабаева, студ.;
рук. Д.Ю. Лосев, асс.
(УзГУМЯ и ТашГТУ, г. Ташкент)*

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Повышение эффективности оперативного и противоаварийного управления электроэнергетическими системами (ЭЭС) во многом зависит от прогнозирования с наибольшей точностью параметров режима ЭЭС.

Как известно, методы прогнозирования подразделяются на формализованные, эвристические и комплексные. Каждому классу прогноза присущи свои достоинства и ограничения [1-2].

Формализованные методы прогнозирования позволяют получать количественные показатели. При разработке таких прогнозов исходят из предположения об инерционности системы, то есть предполагают, что в будущем система будет развиваться по тем же закономерностям, которые были у неё в прошлом и есть в настоящем.

Эвристические методы прогнозирования основаны на использовании интеллекта человека, который на основании своих знаний и практического опыта способен качественно изменять в развитии прогнозируемого объекта.

Комплексные методы прогнозирования объединяют в единую систему формализованные и эвристические методы, что позволяет повысить качество прогнозов. Выбор комплексных методов в значительной степени зависит от сроков, на которые делается прогноз, и от объёма имеющейся информации. В общем, комплексные методы прогнозирования наиболее приемлемы для долгосрочных прогнозов.

Таким образом, важность и актуальность усовершенствования методов прогнозирования в условиях рыночных отношений возрастает ввиду необходимости повышения точности планирования режимов ЭЭС, как при краткосрочном, так и при долгосрочном прогнозировании, улучшения управления оперативными режимами и, как следствие, повышение энергоэффективности работы функционирования электроэнергетической системы в целом.

Библиографический список

1. Аллаев К.Р. Энергетика Узбекистана и мира. – Т.: Фан ва технология, 2009, – 464 с.
2. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. – Т.: Молия, 2007, – 388 с.

*М.А. Бабаева, студ.;
Д.Ю. Лосев, асс.
(УзГУМЯ и ТашГТУ, г. Ташкент)*

НАУЧНО-ОБОСНОВАННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Вопросы прогнозирования режимных параметров и в особенности повышения точности их определения становится первостепенными. При этом, известные модели прогнозирования, не учитывающие рыночный, случайный характер взаимоотношений, на практике часто оказываются непригодными для планирования и управления режимами ЭЭС. В такой ситуации для анализа моделирования и прогнозирования режимных параметров и характеристик электрической системы целесообразно применить методы прямого построения моделей по данным наблюдений (статистики). Такие методы позволяют выявить неявные причинно-следственные связи и закономерности, скрытые в ретроспективных данных, и представить их в явной форме математических моделей.

Как известно, управление ЭЭС на основе планирования (прогнозирование) разделяется на четыре уровня: долгосрочное (перспективное), краткосрочное планирование (прогнозирование), оперативное и автоматическое управления. На каждом уровне необходимо обеспечить соответствующий баланс выработки и потребления энергии, что требует максимальной точности прогноза [1].

Во всех случаях для каждого уровня основной задачей является составление баланса электро- и тепловой энергии, прогнозирование (планирование) выработки электроэнергии и отпуска тепла, перетоков по межсистемным линиям, суммарного и удельного расхода топлива с дальнейшим обеспечением и их выполнения.

Библиографический список

1. **Аллаев К.Р.** Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Т.: Фан ва технология, 2009, – 464 с.

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

ИНТЕГРАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

К числу современных и основных трендов в развитии энергетики относится децентрализация производства электроэнергии с выработкой её на электрических станциях малой мощности, а также распределенное мультиагентное автоматическое управление электроэнергетическими системами (ЭЭС). Выработка электроэнергии при этом осуществляется, с помощью синхронных генераторов, образующих из энергоблоков (ед. мощностью не более 25 МВт) электростанции малой генерации (МГ) и локальные системы энергоснабжения (ЛСЭ) на их основе. Сама по себе ЛСЭ при этом, как правило, не отвечают совокупности требований по надежности, качеству электроснабжения потребителей и экономичности энергопроизводства. В выполненных исследованиях решается задача прямого включения и безопасной работы объектов с синхронной МГ в электрические сети посредством синхронных связей. При синхронной работе МГ в электрической сети необходимо сгладить недостатки взаимного влияния параллельно работающих систем, а именно требуется решение множества технических задач, связанных с обеспечением безопасности режимов параллельной работы. Цель исследования - создание автоматики, обеспечивающей выполнение требований к «свободному» и малозатратному присоединению ЛСЭ и объектов с синхронной МГ к внешним электрическим сетям ЭЭС при их прямом включении в сеть посредством синхронных связей без централизации управления на идеологии мультиагентных систем. Главной противоаварийной функцией автоматики является осуществление быстродействующего сбалансированного по заранее подготовленным сечениям отделения ЛСЭ от внешней ЭЭС при нарушениях нормального режима. При этом автоматика должна работать независимо от централизованной системы диспетчирования и противоаварийного управления внешней ЭЭС, что позволяет построить систему мультиагентного децентрализованного управления электрической сетью с множеством таких распределенных объектов.

Библиографический список

1. **Исследование** устойчивости параллельной работы локальной системы энергоснабжения малой мощности с внешней электрической сетью энергосистемы / А.Г. Фишов, А.И. Марченко, В.В. Денисов, И.С. Мурашкина // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2020. – № 1. – С. 116 – 127. - DOI: 10.31857/S0002331020010136.

*А.А. Юдин, студ.;
рук. А.А. Юдина
(СамГТУ, г. Самара)*

ВЕРИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ

При проведении расчетов динамической устойчивости возникает вопрос рассмотрения различных переходных процессов [1] в зависимости от возмущений. Для проведения оценки динамической устойчивости, как правило, применяется математическое моделирование. Для получения достоверных результатов необходимо проводить верификацию используемых для расчетов моделей.

Для проведения верификации цифровой динамической расчетной модели (ДРМ) энергосистемы необходимо в программно-вычислительном комплексе (ПВК) для расчета переходных процессов воспроизвести установившийся режим работы энергосистемы до возникновения технологического нарушения, произвести моделирование технологического нарушения и выполнить расчет переходного процесса. В качестве технологических нарушений необходимо рассматривать наиболее тяжелые. Моделирование технологического нарушения в цифровой модели следует выполнять путем воспроизведения возмущений, имевших место в процессе рассматриваемого нарушения.

Верификация ДРМ представляет собой сопоставление электромеханических переходных процессов (ЭПП), полученных путем моделирования нарушений в ПВК с аналогичными процессами, зарегистрированными при фактических возмущениях в энергосистеме (данными, полученными от цифровых регистраторов системы мониторинга переходных режимов (СМНР), регистраторов аварийных событий, ОИК).

При сравнении ЭПП в качестве исследуемых параметров электроэнергетического режима следует использовать напряжение в узлах, токи и перетоки мощности по отходящим линиям.

Если поведение исследуемых параметров, возникающих в энергосистеме при различных возмущениях, и параметров, полученных по результатам моделирования тех же возмущений в ПВК, совпадает, то используемая цифровая ДРМ является адекватной.

Библиографический список

1. **Веников В. А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.

Ф.А. Куликов, асп., А.Р. Тычкин, студ.;
рук. И.Е. Иванов, А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА «RTDS»

Одной из неизменно актуальных задач электроэнергетики является разработка и совершенствование методов определения места повреждения (ОМП) на высоковольтных воздушных линиях электропередачи (ВЛ). В литературе имеется большое количество расчетных выражений для двустороннего ОМП по параметрам аварийного режима, оперирующим комплексными значениями (векторами) токов и напряжений по концам ВЛ. Широкое оснащение электрических сетей 330 кВ и выше устройствами синхронизированных векторных измерений (СВИ) потенциально позволяет упростить задачу фиксации аварийных напряжений и токов для целей ОМП. Вместе с тем идеология СВИ изначально не предполагала регистрацию устройствами СВИ быстропотекающих электромагнитных переходных процессов, а статистика относительно качества соответствующих измерений не накоплена в должном объеме.

Исходя из сказанного, в настоящей работе *поставлена и решена задача* моделирования однофазного короткого замыкания (КЗ) на протяженной ВЛ 500 кВ и анализа погрешностей, сопровождающих соответствующие СВИ. Достоверность экспериментов обеспечивается *физико-математическим моделированием* с применением следующих программных и аппаратных средств: «АТР/ATPDraw» для получения осциллограмм напряжений и токов, симулятора «RTDS» для воспроизведения осциллограмм и получения измерений в векторной форме, а также «MATLAB» для обработки экспериментальных данных.

В результате *установлено*, что устройства СВИ класса «Р» способны выдать СВИ с полной векторной погрешностью около $1 \div 1,5$ % уже спустя 0,025 с от момента КЗ, а для устройств класса «М» эта задержка составляет приблизительно на 0,01–0,02 с больше. При этом осциллограммы КЗ сопровождались выраженной экспоненциальной составляющей и волновыми процессами. *Таким образом, применение СВИ для целей ОМП перспективно и требует дальнейших исследований.*

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИНХРОННОЙ МАШИНЕ

Параметрическая идентификация синхронного генератора (СГ) на основе синхронизированных векторных измерений сложна и требует подробного анализа переходных процессов (ПП) в синхронной машине. Для успешного решения задачи определения фактических параметров СГ по реальным данным установленного или переходного режима необходимо выработать математические модели в виде системы дифференциальных уравнений. Рассматриваемые математические модели наиболее полно учитывают переходные процессы как в статорной цепи СГ, так и в обмотке возбуждения и демпферных контурах [1]. Однако необходимо не только проверить корректность представленных моделей, но и убедиться в правильной интерпретации входящих туда параметров (сопротивления СГ, постоянные времени контуров).

Таким образом, *целью исследования* является анализ и верификация математических моделей, описывающих ПП в СГ, а также изучение факторов, влияющих на длительность и вид процесса. При этом программный комплекс «MATLAB» и специализированную среду «Simulink» можно рассматривать как подходящий инструмент для поставленных задач.

В *результате* получено, что математическая модель в записи через потокосцепления корректна и может быть использована при решении задачи идентификации параметров СГ по данным переходных режимов. В свою очередь, результаты по модели в записи через постоянные времени имеют различия с результатами, полученными по другим моделям. При этом интерпретация постоянных времени различается в литературе и нормативных документах по теме, что ограничивает применение данной модели для идентификации параметров генераторов.

Библиографический список

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

*В.Р. Рафиков, А.Р. Тычкин, студ.;
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц., И.Е. Иванов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ

Одним из важнейших направлений применения синхронизированных векторных измерений (СВИ) в электроэнергетических системах (ЭЭС) является определение фактических параметров схем замещения элементов ЭЭС по данным установившегося или переходного режима.

Для успешного решения задачи идентификации параметров синхронного генератора (СГ), с использованием реальных архивов СВИ, важно точно знать, какие компоненты переходного процесса устройство СВИ (УСВИ) фильтрует, а также насколько быстро оно реагирует на переходный процесс.

Основной целью исследования является моделирование переходного процесса в СГ, а затем – воспроизведение и анализ рассматриваемого процесса с помощью реальных УСВИ. **Методом исследования** является математическое моделирование с применением программного комплекса «MATLAB» и физическое моделирование с применением УСВИ «ЭНИП-2 (PMU)» и программно-технического комплекса «RTDS».

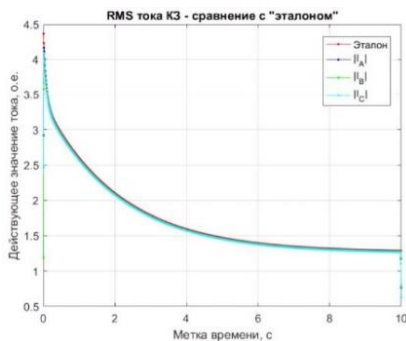


Рис. 1. Графики изменения действующих значений токов («эталон» и «RTDS»)

В **результате** получено, что УСВИ корректно воспроизводят полный процесс по периодической составляющей тока короткого замыкания (рис. 1). Следовательно, задача идентификации параметров СГ по данным СВИ в переходных режимах перспективна.

*Н.М. Абрамов, В.О. Кабанов, маг.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ИВТЭЦ-2 ДЛЯ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ В СИСТЕМУ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

Обеспечение надежной, безаварийной и экономичной работы электрогенерирующего оборудования, поддержание его в постоянной готовности к несению планируемой электрической нагрузки является одной из основных задач электроцеха ИвтЭЦ-2.

Так как Ивановская электрическая сеть относится к дефицитным энергосистемам, необходимо подобрать и эффективно использовать располагаемые мощности ИвтЭЦ-2. Чтобы максимально оптимизировать работу оборудования в программном комплексе EnergyCS была смоделирована электрическая схема (рис. 1) для изучения влияния режимов на энергосистему [1].

Проведённая работа по разработке данной схемы позволила проанализировать вклад генерирующего оборудования ИвтЭЦ-2 на режимы работы городской электросети.

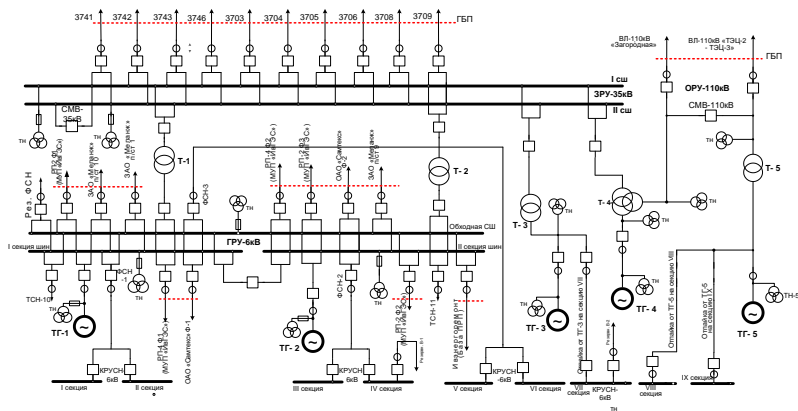


Рис. 1. Главная электрическая схема ИвтЭЦ-2

Библиографический список

1. **Кулешов А.И.** Расчет и анализ установившихся режимов электроэнергетических систем на персональных компьютерах: уч. пособ. — изд. 3-е доп. ИГЭУ, 2019. — 184 с.

*Н.М. Абрамов, В.Ю. Шустин, маг.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – одно из важнейших направлений в электроэнергетической отрасли, которое закреплено в энергетической стратегии России до 2030 года.

В связи со сложностью расчета потерь и наличием существенных погрешностей, в последнее время особое внимание уделяется разработке методик нормирования потерь электроэнергии, а также отысканию современных способов уменьшения процента потерь в электрических сетях.

Потенциал снижения потерь в ближайшие десятилетия оценивается величиной 25–35 млрд кВт*ч. В ЭС-2030 предусмотрено снижение потерь электроэнергии в сетях до 8 % [1].

В работе рассмотрены такие перспективные методы снижения потерь, как: технология передачи электроэнергии на постоянном токе, использование сверхпроводящих линий, технологий SMARTGRID, энергосберегающих трансформаторов, а также применение проводов нового поколения на воздушных линиях.

Исследование показало, что применение всех вышеперечисленных методов имеет огромный потенциал в будущем, однако на данный момент экономически невыгодно в большинстве случаев в связи с дороговизной технологий.

В результате исследования систематизированы и проанализированы данные по потерям электроэнергии в электросетевом комплексе России и выведены пути развития системы для снижения потерь и повышения общей эффективности работы электрических сетей.

Научные и практические результаты работы могут быть использованы при разработке и проектировании, как новых линий электропередачи, так и реконструкции существующих для усиления межсистемных связей в Единой энергетической системе России.

Библиографический список

1. **Ушаков В.Я.** Электроэнергетические системы и сети: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / В.Я. Ушаков – М.: Юрайт, 2017. – 446 с.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В МИРЕ И В РОССИИ

Целью работы является изучение способов применения накопителей электрической энергии в электроэнергетических системах с целью повышения качества управления их электрическими режимами и улучшения экономических показателей их функционирования.

Сделан краткий обзор основных типов накопителей, находящихся на различных стадиях разработки и внедрения. Представлены основные характеристики накопителей, используемые при сравнении различных технологий накопления энергии с точки зрения их применимости в электроэнергетике. Определены возможные области применения накопителей для регулирования установившихся и переходных режимов в электроэнергетических системах и, в частности, в ЕЭС России.

Рассмотрено применение накопителей для автоматического резервирования ответственных потребителей, выравнивания суточного графика нагрузки, средства интеграции в энергосистему возобновляемых источников энергии, а также их применение в качестве эффективного инструмента режимного [1] и противоаварийного [2] управления.

Технологии накопления энергии развиваются высокими темпами, накопители энергии находят все более широкое применение в практике регулирования и управления режимами электроэнергетических систем, повышая надежность электроснабжения потребителей.

Библиографический список

1. ГОСТ 55890—2013. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования. — М.: Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ 34045—2017. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. — М.: Стандартинформ, 2017.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Работы по исследованию математических моделей различных элементов электроэнергетической системы имеют важное практическое значение для развития электросетевого комплекса.

Целью данной работы является построение универсальной математической модели высоковольтной линии электропередачи, предназначенной для утяжеления её режима и определения пропускной способности при вариации конструктивного исполнения, включая компактные линии или УСВЛ.

Модель, созданная в программном комплексе MATLAB (рис. 1), представляет собой линию с распределёнными параметрами, по обе стороны подключённую к энергосистемам, заданным шинами бесконечной мощности. Имеются необходимые измерительные органы для фиксирования основных показателей. Предусмотрена возможность снятия угловых характеристик передачи посредством утяжеления её режима.

Гибкая модель позволяет задавать номинальное напряжение линии, менять параметры конструктивного исполнения: количества цепей, габариты конкретного типа опор, расположение фаз, учитывает особенности видов изоляторов и марок проводов. Это даёт возможность использовать данную модель для различных экспериментов, например, для исследования линий особых конструкций, таких как компактные линии или УСВЛ нового поколения, а также сравнивать их технические показатели.

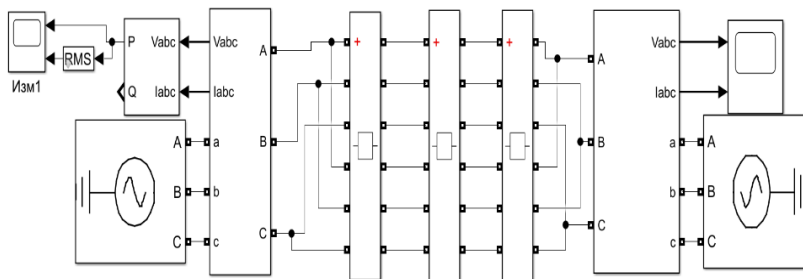


Рис. 1. Модель двухцепной линии с распределёнными параметрами

О.С. Суханова, А.В. Гусельщикова, студ.;
рук. Д.Н. Кормилицын, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ПРЕДЕЛ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время при проектировании электроэнергетических сетей сети в соответствии с методическими указаниями по расчету устойчивости электроэнергетических систем необходимо учитывать запас статической устойчивости по активной мощности [1]. На величину предела передаваемой мощности большое влияние оказывают параметры элементов сети, в том числе сечения проводов высоковольтных линий электропередачи.

Целью данной работы является выявление зависимости влияния сечения провода воздушной линии на предел передаваемой мощности электропередачи высокого напряжения.

В работе рассматривалась модель простейшей электроэнергетической системы, состоящей из 3 турбогенераторов без автоматического регулирования возбуждения, работающих на шины бесконечной мощности через повышающий трансформатор и двухцепную линию электропередачи 220 кВ.

В ходе исследования получены угловые характеристики активной мощности, передаваемой по высоковольтной линии электропередачи при различных сечениях провода, и выявлены факторы, влияющие на изменение предела передаваемой мощности. Верификация разработанной на языке программирования C++ модели электроэнергетической системы производилась в программных комплексах «Energy CS» с расчётом установившегося режима методом Ньютона и «RRSwIn» с решением итерационным методом Зейделя системы алгебраических уравнений по методу узловых потенциалов.

Произведена оценка влияния параметров линии электропередачи на предел передаваемой мощности. Выявлено, что в случае отсутствия регулирования возбуждения генератора, предел передаваемой мощности по условию статической устойчивости практически не зависит от сечения провода, которым выполнена электропередача.

Библиографический список

1. **Приказ** Министерства энергетики РФ от 3 августа 2018 г. № 630 “Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок “Методические указания по устойчивости энергосистем”.

Т. Н. Вергазов, студ.;
рук. О.А. Бушueva, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С УСТРОЙСТВАМИ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

В настоящее время большое внимание придается созданию управляемых линий электропередачи, являющихся составной частью «интеллектуальных» (Smart Grid) сетей с устройствами FACTS [1].

К устройствам FACTS относятся управляемые шунтирующие реакторы (УШР), которые позволяют повысить предел передаваемой мощности и стабилизировать напряжение сети. Это особенно актуально для протяженных линий электропередачи (ЛЭП) [2].

Цель работы: исследование режимных характеристик ЛЭП 750 кВ с УШР для оптимизации режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС).

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

В работе создана модель ЛЭП с УШР, выполнено математическое моделирование установившихся режимов (УР) ЭЭС и проведены их расчеты с применением программного комплекса EnergyCS Режим.

Выявлены регулировочные характеристики УШР по отклонению напряжения с использованием программного обеспечения Mathcad, проведен анализ статических характеристик ЛЭП при отсутствии нагрузки в узле подключения УШР и при ее наличии.

Исследована зависимость степени компенсации реактивной мощности от параметров ЛЭП с УШР.

Полученные результаты работы могут быть использованы как при проектировании новых протяженных ЛЭП, так и при реконструкции существующих с целью повышения пропускной способности межсистемных связей в ЕЭС России.

Библиографический список

1. **Положение** «О единой технической политике в электросетевом комплексе», (утверждено решением Совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС» от 9.04.2020 г. № 496).
2. **Управляемые** подмагничиванием шунтирующие реакторы. / М. В. Дмитриев, А. С. Карпов, Е. Б. Шескин, А. Г. Долгополов, Д. В. Кондратенко. – СПб.: Родная Ладога, 2013. – 280 с.

Я.А. Умнов, студ.;
рук. И.Е. Иванов, к.т.н., А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ АРХИВОВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 500 кВ

Применение синхронизированных векторных измерений (СВИ) напряжений и токов для задач мониторинга электроэнергетических систем и управления ими является одним из актуальных направлений исследований в области электроэнергетики. Анализ реальных архивов СВИ напряжений и токов, зафиксированных в различных схемно-режимных ситуациях, позволяет накопить необходимую статистику и сделать объективные выводы относительно возможности использования СВИ для решения конкретной задачи. Работа посвящена детальному анализу массивов СВИ, записанных при коротких замыканиях (КЗ) на двух воздушных линиях (ВЛ) 500 кВ в Единой энергетической системе России. Все вычислительные операции осуществлены в программном комплексе *MATLAB*.

В обоих случаях главной задачей являлось тестирование известных расчетных выражений двустороннего определения места КЗ на ВЛ, где в качестве входных данных, помимо СВИ, требуются погонные параметры и полная длина ВЛ. На рис. 1 представлены приведенные погрешности оценки расстояния до места КЗ на первой ВЛ.

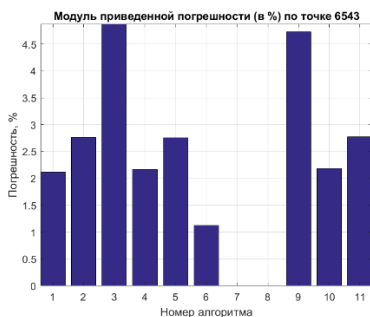


Рис. 1. Приведенные погрешности определения расстояния до места КЗ на первой ВЛ по различным расчетным выражениям для конкретного комплекта СВИ (6543)

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения СВИ для определения места КЗ на ВЛ, а также выработать некоторые практические рекомендации в рамках данной задачи.

*Т.С. Ильинская, Д.В. Судаков, студ.;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

Формирование алгоритмов функционирования устройств автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР) Костромской ГРЭС является актуальной задачей, от правильности решения которой зависит надежность работы и живучесть объединенных энергетических систем Центра и Средней Волги. Так как в энергосистемах, связанных с Костромской ГРЭС, происходят изменения конфигурации сети, то возникает проблема настройки алгоритмов функционирования устройств АЛАР Костромской ГРЭС с учетом этих изменений.

Основными целями исследования являются анализ эффективности функционирования устройств АЛАР, установленных на энергоблоках № 5-9 Костромской ГРЭС и линиях электропередачи (ЛЭП) 500 кВ, отходящих от станции, и в случае выявления неэффективности разработка способов ее повышения. В качестве основного метода исследования используется математическое моделирование с применением программного комплекса RUSTab.

При анализе алгоритмов функционирования исследуемых устройств АЛАР Костромской ГРЭС выявлено, что у основного устройства АЛАР, установленного на энергоблоке № 9 Костромской ГРЭС, не срабатывает I ступень при фиксации асинхронного режима на генераторе № 9. Устройство АЛАР, установленное на ЛЭП 500 кВ Костромская ГРЭС – Загорская ГАЭС со стороны Костромской ГРЭС, имеет неэффективные управляющие воздействия для устранения асинхронного режима.

Для ликвидации асинхронного режима предложены усовершенствованные алгоритмы функционирования устройств АЛАР, установленных на энергоблоке № 9 Костромской ГРЭС и на ЛЭП 500 кВ Костромская ГРЭС – Загорская ГАЭС со стороны Костромской ГРЭС.

Анализ работы усовершенствованных алгоритмов функционирования устройств АЛАР показал, что эффективность функционирования указанной противоаварийной автоматики повысилась.

Д.В. Судаков, Т.С. Ильинская, студ.;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

Костромская ГРЭС является важным источником электрической энергии в объединенных энергетических системах Центра и Средней Волги и, как следствие, оказывает существенное влияние на надежность работы и живучесть энергосистем. В связи с изменением требований к перечню нормативных возмущений, которые необходимо рассматривать при оценке динамической устойчивости энергосистем [1], актуальной задачей является анализ алгоритма функционирования локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости (ЛАПНУ) Костромской ГРЭС.

Целями исследования являются моделирование электромеханических переходных процессов при нормативных возмущениях в сети, прилегающей к Костромской ГРЭС, анализ и, в случае необходимости, совершенствование алгоритма функционирования ЛАПНУ. Методом исследования является математическое моделирование с применением программного комплекса RUSTab.

При анализе алгоритма функционирования ЛАПНУ Костромской ГРЭС выявлено, что в большинстве схемно-режимных ситуаций нет необходимости в действии ЛАПНУ. Тем не менее, в отдельных случаях действие ЛАПНУ необходимо для сохранения динамической устойчивости генераторов станции, для чего требуется импульсная разгрузка турбин на меньшие значения мощности.

В целях предотвращения нарушения динамической устойчивости генераторов предложен усовершенствованный алгоритм функционирования ЛАПНУ Костромской ГРЭС.

Анализ результатов применения усовершенствованного алгоритма ЛАПНУ показал, что эффективность функционирования указанной противоаварийной автоматики повысилась.

Библиографический список

1. **Приказ** Министерства энергетики Российской Федерации от 03.08.2018 № 630 «Об утверждении требований к обеспечению надёжности электроэнергетических систем, надёжности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем».

*А.Р. Тычкин, студ.,
И.Е. Иванов, доц.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н.;
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ ВЕКТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Повышение точности методов определения места повреждения (ОМП) на высоковольтных воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) позволит сократить финансовые и временные затраты на поиск точки короткого замыкания (КЗ), что является актуальной задачей. При исследовании погрешности метода дистанционного ОМП необходимо варьировать значительное количество влияющих факторов: удаленность КЗ, переходное сопротивление в месте КЗ, ток нагрузки ВЛЭП, мгновенное значение напряжения на поврежденной фазе в момент пробоя, отличие действительных параметров ВЛЭП от паспортных, погрешности измерительных преобразователей тока и напряжения и др. Известны методы дистанционного ОМП, основанные на параметрах аварийного режима, которыми могут являться синхронизированные векторные измерения (СВИ) токов и напряжений. Оценить влияние вышеперечисленных факторов на погрешность данных методов ОМП возможно на имитационных моделях электроэнергетических систем, однако, сложно учесть погрешность устройств СВИ в связи с отсутствием подробных описаний алгоритмов их работы. Указанную проблему можно решить путем использования программно-аппаратного комплекса моделирования в реальном времени RTDS с подключенными к нему устройствами СВИ. Программное обеспечение комплекса RTDS позволяет автоматизировать изменение значений факторов, влияющих на погрешность дистанционного метода ОМП, путем варьирования параметров имитационной модели ВЛЭП при помощи скрипта на языке С.

В докладе будет представлена экспериментальная установка, позволяющая в автоматизированном режиме выполнять исследования методов ОМП, основанных на синхронизированных векторных измерениях, с учетом погрешностей устройств СВИ и других вышеизложенных факторов.

*Ю.А. Чудинов, студ.;
рук. И.Е. Иванов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 500 КВ ПО РЕАЛЬНЫМ АРХИВАМ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Погонные параметры воздушных линий электропередачи (ЛЭП) могут существенно варьироваться в зависимости от уровня тока, протекающего по ЛЭП, и погодных условий. Массовое внедрение устройств синхронизированных векторных измерений (СВИ) создает предпосылки для идентификации фактических параметров ЛЭП. Методы идентификации, предложенные в литературе по данной теме, нуждаются в комплексном тестировании на базе архивов реальных СВИ, что позволит сделать объективные выводы относительно их работоспособности и возможности использования в эксплуатации.

Исходя из сказанного, *целью настоящего исследования* является анализ функционирования алгоритмов определения сопротивлений и проводимостей ЛЭП на основе массивов СВИ напряжений и токов, зарегистрированных на четырех ЛЭП в энергосистеме России. Рассмотрены два различных алгоритма, один из которых базируется на линейной регрессии, а второй рассчитывает параметры ЛЭП по каждому последовательному «срезу» СВИ, что позволяет оценить динамику изменения погрешности определения параметров ЛЭП от точки к точке. Все вычислительные эксперименты выполнены в программном комплексе «MATLAB».

В результате экспериментов установлено следующее:

– алгоритм, работающий с каждым комплектом СВИ, в целом обеспечивает достаточно стабильные (хотя и значительные) погрешности в оценке параметров ЛЭП;

– для тех архивов СВИ, где оценки по данному алгоритму подвержены большей вариации, получается существенная меньшая точность и большая вариативность расчетов по алгоритму линейной регрессии;

– точность определения параметров ЛЭП по линейной регрессии в большей степени зависит от вариативности режимных параметров, чем от количества комплектов СВИ, задействованных в модели.

Результаты работы создают необходимую основу для совершенствования и верификации методов расчета параметров ЛЭП на основе векторных измерений напряжений и токов по концам ЛЭП.

А.А. Гречухина, Н.А.Козина, студ.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB

Для изучения устойчивости электроэнергетической системы, имеющей регулируемое устройство продольной компенсации, в программном комплексе Matlab составлена модель исследуемой ЭЭС на основе уравнений электромагнитных переходных процессов для отдельных ее элементов и связи их между собой [1].

Программный комплекс Matlab позволяет проводить вычислительные эксперименты, исследуя устойчивость ЭЭС с управляемыми элементами.

В данной работе рассматривается математическая модель участка электроэнергетической системы, включающая генератор, линию электропередачи сверхвысокого напряжения, нагрузку, управляемые устройства компенсации (устройство продольной компенсации, управляемый шунтирующий реактор) и шины бесконечной мощности.

Проанализировано влияние управляемых устройств на предел передаваемой мощности, а также на параметры режима при нормативных возмущениях.

Данную модель можно использовать в учебном процессе для изучения вопросов устойчивости и повышения пропускной способности электропередачи.

Библиографический список

1. **Влияние** законов регулирования устройств продольной компенсации на устойчивость электроэнергетической системы / Голов В.П., Мартиросян А.А. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2003. – Выпуск 5. – С.41-44.

СЕКЦИЯ 14
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

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

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

*А.Д. Васильев, студ.;
рук. О.А. Иванова, к.т.н., доц.
(ВолГАУ, г. Волгоград)*

ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ ТРАНСФОРМАТОРА ЧЕРЕЗ ДУГОГАСЯЩИЙ РЕАКТОР

Заземление нейтрали трансформатора через дугогасящий реактор в сетях (6-35кВ) используются для того чтобы уменьшить дуговое перенапряжение в местах однофазного к.з., без отключения потребителя. В России данный режим заземления нейтрали применяется для кабельных линий, где повреждение не устраняется при отсутствии тока в месте к.з.

Принцип работы: Ток в месте замыкания снизить практически до нулевого значения путем компенсации емкостного тока замыкания индуктивным током от специальной катушки индуктивности ДГР, который включается в нейтраль трансформатора, напряжение на неповрежденных фазах при этом повышается до линейного.

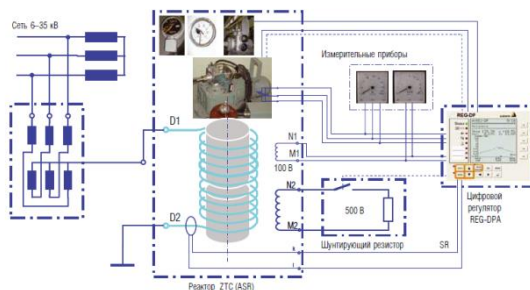


Рис. 1. Структурная схема технического решения по заземлению нейтрали сети 6-10кВ через дугогасящий реактор

Проблема: достичь резонансной компенсации вручную (т.е. выставить индуктивный ток на ДГР равным емкостному току (на месте к.з.) на практике не представляется возможным, так как в сеть постоянно добавляются (отключаются) присоединения.

Решение: добавить в схему как показано на рис. 1 шунтирующий резистор [1] на 500 В и цифровой регулятор REG-DPA. В случае если замыкание перешло в устойчивое, регулятор подключает в схему резистор (на 1-3 секунды), только в поврежденном фидере создается активный ток $3I_0$, которого достаточно для срабатывания МТЗ.

Библиографический список

1. Титеньков С.С., Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали 6-35кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю. – ЭнергоЭксперт, №2, 2010. – 8 с.

*Л.Е. Веселов, асп.; А.В. Шалухо, к.т.н.;
рук. Е.Н. Соснина, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Н. Новгород)*

ВЫБОР МОЩНОСТИ ТОТЭ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Низкое качество электроснабжения и необходимость утилизации производственных отходов являются серьезными проблемами для развития современных сельскохозяйственных предприятий. Решение этих проблем связано с расширением использования источников распределенной генерации, работающих на биогазе из утилизированных отходов производства.

Наибольшими преимуществами при работе на биогазе обладают твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ). Основными недостатками ТОТЭ являются их низкая маневренность и высокая удельная стоимость 1 кВт установленной мощности. Проблема низкой маневренности решается путем комбинированного использования ТОТЭ с другими источниками энергии. При этом актуальной является задача выбора оптимальной мощности ТОТЭ [1].

Разработана методика выбора оптимальной мощности ТОТЭ в системе электроснабжения животноводческого предприятия, учитывающая критерии экономической эффективности и экологической безопасности. Методика основана на модифицированном методе последовательных уступок и методе поразрядного поиска с применением разработанной базы данных по ТОТЭ [2].

На примере животноводческого комплекса на 2000 коров проведено исследование эффективности применения ТОТЭ на биогазе и установлена зависимость критериев оптимизации от мощности ТОТЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение о предоставлении грантов для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук № 075-15-2020-097 (МК-593.2020.8) от 18.03.2020 г.).

Библиографический список

1. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Веселов Л.Е. О применении ТОТЭ на биогазе в системах электроснабжения сельскохозяйственных предприятий // Интеллектуальная электротехника, 2020. №4. – С. 27-41.

2. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Веселов Л.Е. База данных по твердооксидным топливным элементам (ТОТЭ) // Свидетельство о гос. регистрации № 2020622076; заявл. № 2020621942 от 21.10.2020. Зарегистрировано 28.10.2020. Правообладатель: НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Ворошилов А.А., Шувалова Ю.Н.
(НГТУ им. П. Е. Алексеева, г. Н. Новгород)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Одним из перспективных направлений модернизации электроэнергетического комплекса определяют повышение числа использования распределенной генерации (РГ) на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Активному развитию технологий РГ способствует оптимизация алгоритмов выбора состава оборудования генерирующих мощностей.

На сегодняшний день наиболее распространенными методами проектирования систем с источниками РГ являются:

- *метод LCOE* - алгоритм подбора оборудования, позволяющий при минимальных ценовых затратах получить максимальную мощность;

- *метод критериального анализа*, который предусматривает ранжирование исходных данных по ценности и затем выбор оптимального варианта;

- *классические методы определения требуемого состава генерирующих мощностей (итерационные, аналитические, графические, линейные)*.

Рассмотренные подходы к проектированию РГ характеризуются достаточно элементарным математическим аппаратом, при котором недостаточно широко учитываются территориальные и технические особенности разрабатываемых систем.

Детальная проработка систем с РГ требует сбора и анализа большого количества исходных данных, что без применения специализированных технологий не представляется возможным. В качестве наиболее перспективного подхода к оптимизации систем с РГ может выступать технология Big Data – область, в которой рассматриваются различные способы анализа и систематического извлечения больших объемов данных [1].

На сегодняшний день уже существуют компании, которые успешно используют технологии Big Data для разработки своих продуктов (например, Procter & Gamble).

Использование технологий Big Data при проектировании систем с источниками РГ позволит сформировать базу генерирующих установок, оптимизировать алгоритм выбора оптимального оборудования, а также создаст возможность долгосрочного планирования, что в конечном итоге позволит повысить эффективность применения установок РГ.

Библиографический список

1. **Круминь С. А., Юрчак А. В.** Использование технологий Big Data в энергетике.
2. **Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния электротехнического оборудования / М.Ф. Низамиев, И.В. Ившин, В.В. Максимов, Ф.Ф. Биалалов // Электрика, 2015. – №6. – С.18-25.**

*А.В. Иванов, асп.; Р.Ш. Бедретдинов, к.т.н.
рук. Е.Н. Соснина д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Н. Новгород)*

ОЦЕНКА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ИЭС С УЧЕТОМ ИНТЕРГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Переход к интеллектуальным электрическим сетям (ИЭС), объединяющим производителей и потребителей электроэнергии (ЭЭ) в единую автоматизированную систему на технологическом уровне, является комплексной и многокритериальной задачей [1]. Вместе с развитием источников распределенной генерации, тиристорных регуляторов напряжения и заменой вторичных цепей на цифровые коммуникационные сети должны быть также разработаны новые методики оценки режимов сети и алгоритмы распознавания сигналов. Широкое применение элементов силовой электроники в ИЭС ведет и к росту уровня как гармонических, так и интергармонических составляющих напряжения сети.

Существующие методики оценки несинусоидальности напряжения рассматривают систему в установившемся режиме, при этом интергармонические составляющие напряжения не учитываются. Наличие интергармоник приводит к снижению эффективности распределения ЭЭ, уменьшению срока службы изоляции, а также возникновению помех в низкочастотных цепях управления. Применение традиционных методик может привести к некорректным результатам оценки качества электроэнергии в ИЭС и, как следствие, к ошибочным решениям при выборе средств снижения несинусоидальности сети. Необходима разработка новой методики расчета несинусоидальности напряжения, учитывающей интергармоники и опирающейся на аналитику большого объема данных, характеризующих текущее состояние энергосистемы в ее динамике.

Согласно МЭК 61850 оценка качества электроэнергии в ИЭС должна учитывать цифровой обмен данными и использование устройств синхронизированных измерений [1, 2].

Результаты исследований получены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-2026.2021.4).

Библиографический список

1. **Программа** инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016-2020 гг. с перспективой до 2025 г. – Москва, 2016.
2. **Энергетическая** стратегия Российской Федерации на период до 2035 года / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р – Москва. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>.

Г.Г. Муравьев, студ.;
рук. Е.И. Грачева, к.т.н., проф.
(КГЭУ, г.Казань)

АКТИВНЫЕ И РЕАКТИВНЫЕ ПОТЕРИ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Рассмотрим особенности КЛ с диапазоном от 50 до 240 квадратных миллиметров.

На графиках 1,2 видно, что при возрастании номинала сечения КЛ также увеличиваются потери. При 50 мм² величина V составляет 0,132 о.е. для алюминия, что в 3 раза меньше потерь при 240 мм². Аналогично и с относительными потерями в реактивном сопротивлении. На примере медного проводника видно, как величина W при максимальном исследуемом сечении выше минимального на 0,74 о.е.

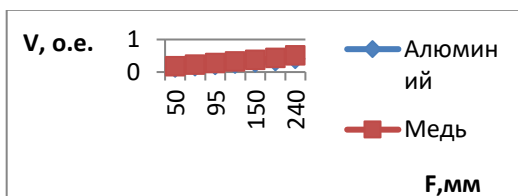


Рис.1. Зависимость номинальных относительных потерь в активном сопротивлении КЛ от сечения жилы

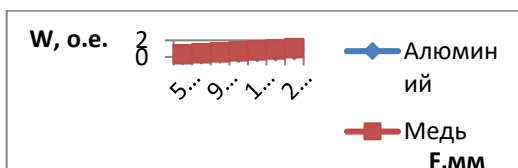


Рис.2. Зависимость номинальных относительных потерь в реактивном сопротивлении КЛ от сечения жилы

Библиографический список

1. **Грачева, Елена Ивановна.** Влияние технических параметров электрических аппаратов систем электроснабжения на их характеристики надежности / Е.И. Грачева, И. В. Ившин, А.Н. Горлов, А.Н. Алимova. // Проблемы региональной энергетики. 2019. №2 (43). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tehnicheskikh-parametrov-elektricheskikh-apparatov-sistem-elektrosnabzheniya-na-ih-harakteristiki-nadezhnosti> (дата обращения: 28.10.2020).

П.П. Муханова, студ.;
рук. Е.И. Грачёва, д.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

В настоящее время возникает проблема исследования законов изменения потерь мощности контактных соединений низковольтных аппаратов экспериментальными и расчетными методами.

Для того чтобы выбрать наиболее точную формулу, необходимо произвести расчёт среднеквадратического отклонения выражению:

$S = \sqrt{\sum (f(I) - \Delta P)^2}$, где $f(I)$ - значение найденной функции при определенном номинальном токе; ΔP - каталожное значение потерь мощности.

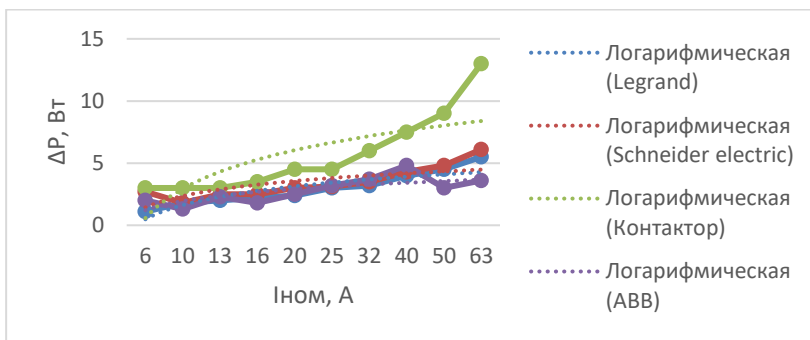


Рис. 1. Графики логарифмической аппроксимирующей функции зависимостей потерь мощности от номинального тока для автоматических выключателей С60Н-DC, S201M, ВА47-063Про, ТХ³6000

Таким образом, определены зависимости изменения потерь мощности на полюс от номинального тока – это аппроксимирующие функции, имеющие наименьшее среднеквадратическое отклонение. При этом наиболее точной при аппроксимации является логарифмическая функция. Данные зависимости позволяют определить потери мощности автоматического выключателя ΔP на любой номинальный ток $I_{ном}$. Полученные результаты рекомендуется использовать для уточнения потерь электроэнергии в низковольтных цеховых сетях.

А.С.Панкова, О.А.Пронина, К.Е.Чумарин, асп.;
рук. А.Б.Лоскутов, д.т.н., проф.
(НГТУ им.Р.Е.Алексеева, г. Н. Новгород)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ ПО ТОКУ

Электроэнергия является универсальным энергоресурсом жизнеобеспечения и комфорта населения планеты, экономического и социального развития стран.

Быстрые и глубокие изменения в системах передачи и распределения электрической энергии, появление нового оборудования, привели к существенному изменению характеристик и усложнению алгоритмов управления системами электроснабжения.

Для решения задач управления режимами энергосистем необходимой информацией являются ограничения перетоков мощности в соответствии с пропускной способностью электрических сетей. В практике диспетчерского управления допустимые перетоки рассчитываются заранее и определяются величинами, полученными в наиболее неблагоприятных расчетных режимах. Для многообразия схемно-режимных ситуаций невозможно заранее определить сетевые ограничения, поэтому возникла необходимость создания адаптивных алгоритмов работы системы длительной автоматической разгрузки по току, осуществляющего такие расчеты с использованием оперативных данных, на базе стандарта серии МЭК 61850.

Разрабатываемый на кафедре «ЭССЭ» НГТУ, алгоритм системы длительной автоматической разгрузки по току был апробирован на имитационной модели магистральной распределительной сети 6/0,4 кВ в ПО *PScad*.

Исследования показали эффективность работы алгоритма, его возможность функционирования при различных уставках длительно допустимого тока различных элементов сети.

Библиографический список

1. **Лоскутов, А.Б.** Разработка алгоритма системы управления и релейной защиты в замкнутых распределительных сетях / Лоскутов А.Б., Панкова А.С., Пронина О.А., Чумарин К.Е. // Т 78 Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2019. №4(127). – 204 с.

2. **Опадчий, Ф.Ю.** Цифровизация энергетики: принципы реализации, пилотные проекты / Ф.Ю. Опадчий // Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Роголева. – М.: МЭИ, 2019. – 300 с.

*Р.И. Рамазанова, О. В. Исаева, М. Н. Трофимова студ.;
рук. А. Г. Логачева, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

В настоящее время на рынке обширно представлены разнообразные компактные аккумуляторы.

Основные виды батарей [1]:

1) Никель-кадмиевые батареи. Они выдерживают от пятисот до тысячи зарядок; 2) Свинцовые батареи. Широко используются в автомобильной промышленности; 3) Литий-ионные батареи. Используют в мобильной технике. Выходное напряжение составляет от полутора вольт почти до трёх с половиной (без одной десятой);

4) Литий полимерные зарядные устройства. Используются в компьютерах. Способны хранить на 22% больше заряда, чем предыдущий вариант; 5) Литий-железодисульфидные батареи. Выходное напряжение в два раза меньше 3 вольт. Минусом является невозможность перезарядки.

Наибольшую популярность получили литий-ионные батареи, так как они нам чаще всего встречаются в мобильных устройствах и ноутбуках за счет простоты изготовления и относительно недорогих материалов. Но появились батареи на основе более дешевой химии – LiNiO_2 , LiMnO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 . В настоящее время появляются литий-ионные аккумуляторы, основанные на новых химических и конструктивных составляющих [1,2].

Возможности совершенствования аккумуляторов еще далеко не исчерпаны, что вселяет надежду на появление все более емких, безопасных и дешевых аккумуляторов на рынке.

С учетом постоянного роста спроса на портативные электронные устройства в ближайшие годы мировая аккумуляторная отрасль продолжит активно развиваться с целью оптимизации характеристик электрических аккумуляторов [2].

Библиографический список

1. **Баранов, М.И.** Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 22: Изобретение аккумуляторов электрической энергии // Электротехника и Электромеханика, 2014. № 5. – С. 3–12.
2. **Рыкованов А., Румянцев С., Беляев С.** Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция // Компоненты и технологии, 2013. № 11. – С. 111–118.

*У. М. Амон, студ.;
рук. О. А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КОТ Д'ИВУАР

Энергетический сектор республики Кот-Д'Ивуара имеет свою специфику в связи с особенностями географического местоположения.

Основными источниками энергоресурсов являются: биомасса, углеводороды и гидроэнергия.

В настоящее время развитие возобновляемых энергоресурсов является целью будущего энергетического сектора.

Целью работы является анализ состояния электроэнергетики страны и оценка перспектив использования возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), использующих энергию солнца.

состояния электроэнергетики показал, что более 70% населения обеспечены электроэнергией, а спрос на электроэнергию постоянно увеличивается (на 10% ежегодно), что обусловлено, в первую очередь, постоянным приростом населения (3% ежегодно), а также поставкой электроэнергии в отдаленные от основных электростанций районы.

Установлено, что к 2030 году установленная мощность ГЭС достигнет 1560 МВт, в том числе малая гидроэнергетика составит 10 МВт.

Республика планирует производить не менее 42% электроэнергии от возобновляемых источников и достичь 400 МВт генерирующей мощности от солнечной энергии [1].

Солнечная энергия, доступный потенциал 5,25 кВтч / м² / Дж, в основном будет использоваться в северном регионе, где развито сельское хозяйство.

Ветроэнергетика будет использоваться в горных районах западного, восточного и южного побережья с общей мощностью менее 100 МВт при скорости менее 4,8 м/с.

Результаты работы планируется использовать в выпускной квалификационной работе магистра.

Библиографический список

1. **Возобновляемые** энергоресурсы. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.cinergies.ci>

Д.В. Виноградов, маг.;
рук. А.А. Шульпин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ВЫБОРЕ БАТАРЕЙ СТАТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Основными потребителями реактивной мощности из сети являются асинхронные двигатели и трансформаторы, при наличии которых в ряде случаев уменьшается пропускная способность электрических сетей. Низкое значение коэффициента мощности ограничивает не только пропускную способность электрической сети, но и ведет к увеличению потерь мощности и электроэнергии. Поэтому компенсация реактивной мощности является одним из важных факторов, позволяющих решить проблему энергосбережения практически для любого предприятия. По оценкам российских и зарубежных специалистов доля стоимости электроэнергии в стоимости выходного товара составляет величину порядка 30 ÷ 40% [1, 2].

Для решения проблемы компенсации реактивной мощности часто применяют батареи статических конденсаторов, которые выдают реактивную мощность, уменьшая её отбор из электрической сети и снижая потери мощности и электроэнергии [1].

Проведен анализ методов оптимизационного выбора батарей статических конденсаторов для различных видов электрических сетей. Экономическое сравнение оптимизационного метода с методом выбора батарей статических конденсаторов по пропускной способности линий и трансформаторов показало, что использование оптимизационного метода является наиболее целесообразным. Поэтому в данной работе отдано предпочтение оптимизационному методу, который позволяет производить выбор мощности батарей статических конденсаторов с учетом экономической составляющей.

Создан шаблон (модель) в программном комплексе Excel, а также в программном комплексе MathCAD для упрощения ввода исходных данных и ускорения расчётов.

Библиографический список

1. **Кабышев А. В.** Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: монография. / ФГБОУ ВПО НИ ТПУ. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.
2. **Аржаникова А.Е., Кулешов А.И.** Оптимизация систем электроснабжения / ФГБОУ ВО. Изд. 2-е перераб. и доп. – Иваново, 2002. – 47 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ВЫБОРЕ СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Переход на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) взамен кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ) обусловлен рядом преимуществ СПЭ. Основными из них можно назвать следующие: более высокая надежность в эксплуатации, меньшие расходы на реконструкцию и содержание, высокая стойкость к повреждениям, большая пропускная способность за счёт увеличения допустимой температуры нагрева токоведущих жил.

При выборе сечений проводников следует учитывать, что в условиях эксплуатации его технические параметры (температура, механические нагрузки) не выходили за пределы допустимых значений. Выбранное сечение проводника также должно быть экономически целесообразным, поскольку с увеличением сечения растет его стоимость, а при уменьшении - стоимость потерь электрической энергии.

Целью исследования является оценка возможности использования известных методов экономических токовых интервалов и экономической плотности тока для выбора экономически оптимального сечения кабеля. Объектом исследования являются кабели с изоляцией из СПЭ марки АПвП на номинальное напряжение 10 кВ.

В программном комплексе MathCad разработана математическая модель, позволяющая по исходным данным о передаваемой мощности рассчитывать сечение токоведущих жил. В результате получено, что при выборе сечения по экономической плотности тока кабелей АПвП с возрастанием электрической нагрузки (для больших сечений токоведущих жил) коэффициент загрузки приближается к единице для нормального режима работы. Это должно приводить к значительному росту потерь электроэнергии в кабеле и, как следствие, экономическая плотность тока таких кабелей должна быть связана с величиной передаваемой мощности.

Результаты исследования показали, что метод экономических токовых интервалов позволяет более полно учесть технические факторы и поэтому дает более оптимальный результат.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Повышение эффективности систем электроснабжения является одной из приоритетных задач в энергетике [1].

Внимание к этой теме вызвано необходимостью сбережения электроэнергии, снижения ее потерь за счет применения инновационного оборудования и оптимизации режимов системы электроснабжения.

Целью работы является комплексный анализ существующей схемы электроснабжения конкретного промышленного предприятия и разработка мероприятий по снижению потерь электроэнергии.

Составлена модель существующей системы электроснабжения и проведен расчет установившегося режима с применением специализированного программного комплекса EnergyCS Режим. Выявлены причины высокого уровня потерь электроэнергии в схеме электроснабжения.

Предложены мероприятия по реконструкции системы электроснабжения: замена устаревших кабелей с бумажной изоляцией на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, применение энергосберегающих цеховых трансформаторов типа ТМГ12, установка комплектных регулируемых конденсаторных установок, способы управления режимом напряжения в схеме электроснабжения.

Анализ результатов расчета режима системы электроснабжения после ее реконструкции показал, что потери мощности снизились на 24 %.

Проведены расчеты по оценке экономической эффективности предложенных мероприятий по энергосбережению, который составил 1229706 руб. в год.

Полученные результаты работы могут быть использованы как при реконструкции существующих систем электроснабжения различных промышленных предприятий, так и при проектировании новых.

Библиографический список

1. **Энергетическая** стратегия Российской Федерации до 2035 г. Распоряжение правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г № 1523-р.

М.Н. Малова, студ.;
рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ 0,4 кВ

Одно из основных вариантов применения систем накопления электрической энергии (СНЭ) в сетях 0,4-110 кВ является резервирование источников питания социально-значимых объектов 0,4 кВ [1].

На примере фельдшерско-акушерского пункта (далее – ФАП, амбулатория), расположенного в Костромской области выбрана мощность и емкость СНЭ для обеспечения надежности электроснабжения при плановых или аварийных отключениях.

1) Проведён анализ замеров параметров режима работы (напряжения и активной мощности) ФАП, п. Космынино.

Определен интервал времени ΔT с 8:00 до 13:00, приходящийся на наибольшую нагрузку в течение суток $P_{max} = 7$ кВт.

2) Определена ёмкость ННЭ:

$$E_{СНЭ} = \sum_{i=1}^{N_{изм}} P_{N_{изм} i} \cdot \frac{\Delta T}{N_{изм}},$$

где $E_{СНЭ}$ – ёмкость СНЭ;

$\sum_{i=1}^{N_{изм}} P_{N_{изм} i}$ – зафиксированное значение мощности на i -том шаге измерения $N_{изм} i$;

ΔT – продолжительность времени, приходящее на наибольшую нагрузку;

$N_{изм}$ – количество измерений, выполненных за промежуток времени ΔT .

Для обеспечения надежности электроснабжения фельдшерско-акушерского пункта при плановых или аварийных отключениях нужен СНЭ с мощностью $P_{СНЭ} = 7$ кВт и ёмкостью $E_{СНЭ} \approx 17$ кВт·ч.

Библиографический список

1. Абрамов, А.Ю., Богаченко, П.В., Куликов, А.В., Ряпин, И.Ю. Экспертно-аналитический отчет. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры. / Под ред. Д.В. Холкина, Д.А. Корева. – М.: изд-во IDEA Библиотека (по заказу инфраструктурного центра EnergyNet), 2019. – 157 с.

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

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА С ИСТОЧНИКОМ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В настоящее время на смену централизованным источникам производства энергии приходят малые (местные) источники, располагаемые по месту потребительских мощностей [1]. Это электростанции, состоящие из нескольких генерирующих установок (ГУ), имеющие установленную мощность, не превышающую 25 МВт и подключаемые к распределительным сетям.

Технические решения по интеграции объектов РГ в распределительные сети должны опираться на результаты комплексного расчетного анализа установившихся режимов (УР) и переходных процессов с участием объектов РГ и потребителей.

Объектом исследования является мини-ТЭЦ на промышленном предприятии ОАО «Сыктывкар Тиссю Групп», электрической мощностью 6,0 МВт, в состав которой входят три ГУ с газопоршневыми агрегатами АЕ20V4000L33 фирмы MTU (Германия) и единичной электрической мощностью 1948 кВт на напряжении 10,5 кВ.

Разработана модель системы электроснабжения предприятия с источником РГ и проведены расчеты УР с использованием программного комплекса «EnergyCs v.5» следующих режимов:

- параллельная работа объекта РГ с энергосистемой и исключением передачи электроэнергии от ГУ во внешнюю сеть;
- изолированный (автономный), электроснабжение потребителей осуществляется от мини-ТЭЦ.

Выявлены особенности расчетов режимов устойчивости, работы генераторов мини-ТЭЦ с возникновением различных аварийных ситуаций (короткое замыкание, отключение генераторов и др.) с использованием специальных программных комплексов.

Результаты работы планируется использовать в выпускной квалификационной работе магистра, а также в проектной практике систем электроснабжения с РГ.

Библиографический список

1. **Ушаков В.Я.** Электроэнергетические системы и сети: учеб. пособ. для вузов / В.Я. Ушаков. – М.: изд-во Юрайт, 2017. – 446 с.

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

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫТОВОЙ СЕКТОР

Отрасль энергетики является стратегической важной составляющей экономики России. На данный момент она характеризуется низкой энергоэффективностью и согласно федеральным законам и другим документам является одним из приоритетных направлений инновационного развития. Процесс реформирования энергетической отрасли вступает в фазу, когда он начинает затрагивать бытовой сектор и коммунальную энергетику.

Одним из направлений решения данной проблемы является разработка и внедрение современных автоматизированных информационно-измерительных систем домового и поквартирного интеллектуального учета электроэнергии с последующей передачей в единый центр сбора и обработки данных совмещенного с городскими биллинговыми системами.

Автоматизированный контроль и учет потребления электроэнергии в бытовом секторе является техническим обеспечением реформы коммунальной энергетики. В стране более 20 миллионов счетчиков электроэнергии в бытовом секторе. Сегодня доля населения в общем объеме потребления электроэнергии составляет 15 – 18%, в СССР она была не более 8% (в кВт-часах). Доля населения в балансе доходов энергокомпаний в целом по России порядка 10% по причине существования «перекрестного субсидирования», но она постоянно растет.

Увеличение доли «быта» в балансе доходов энергокомпаний обусловлена: уменьшением объемов перекрестного субсидирования, ростом энерговооруженности индивидуальных потребителей, сокращением промышленного производства. При увеличении этой доли до 20% критически важным становится переход от существующей сегодня системы «самобслуживания» платежей за потребленную электроэнергию к биллинговой системе с выпиской счетов.

Переход на автоматизированные системы интеллектуального учета позволяет автоматически собирать данные для своевременного выявления бездоговорного и неучтенного потребления и своевременно принимать меры по их устранению в многоквартирных домах.

Н. С. Селиверстова, студ.;
рук. С. В. Балдов, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Энергосбережение в осветительных установках является актуальной задачей государственного уровня, поскольку на освещение в России затрачивается около 13 % всей вырабатываемой электроэнергии. Одним из направлений развития энергосбережения и повышения энергетической эффективности является модернизация систем освещения [1].

Объектами исследования явились натриевые и светодиодные лампы.

Выполнена статистическая обработка данных измерений для образцов светильников. Статистическая обработка данных измерений для образцов светильников выполнена с целью проверки на то, подчиняется ли нормальному закону распределения ряд образцов ламп.

На рис. 1 в графическом виде представлены результаты статистической обработки светильников ЖКУ-250 с лампой ДНаТ-250.

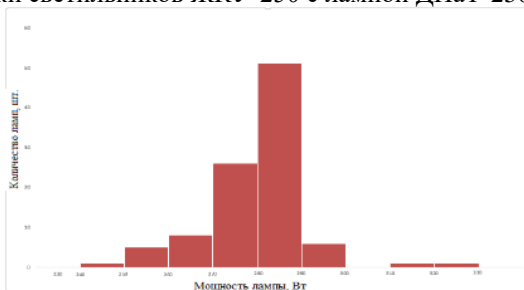


Рис. 1. Результаты статистической обработки данных измерений для образцов

Получены результаты статистической обработки данных измерений для образцов, из анализа которых выявлено, что рассмотренные виды светильников не подчиняются нормальному закону распределения.

Результаты исследований планируется использовать в магистерской диссертации.

Библиографический список

1. Гвоздев С.М, Панфилов Д.И., Поляков В.Д. Энергоэффективное электрическое освещение.

*Е.С. Солдаткина, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ РАЙОНА ГОРОДА С ОБЪЕКТОМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Одной из важнейших проблем для многих энергосистем России на сегодняшний день является проблема энергодефицита.

Решением данной проблемы может выступать внедрение источника малой генерации (ИМГ) в систему электроснабжения города, который может работать автономно и параллельно с основной электрической сетью.

Для получения разрешения от энергосистемы на подключение ИМГ к существующей подстанции необходимо выполнить расчеты электроэнергетических режимов для обеспечения заданных режимных ограничений на границе балансовой принадлежности и оценки допустимости параметров режимов в схеме основной электрической сети.

Целью работы является анализ режимных параметров распределительной электрической сети города Ярославля (микрорайон «Новоселки») с новой газопоршневой электрической станцией «Яркогенерация», которая в перспективе предназначена для электроснабжения потребителей с нагрузкой 25 МВт.

Создана модель электрической сети, проведены расчеты установившихся режимов с применением специализированных программных комплексов.

Выполнен анализ режимных параметров электрической сети при работе ИМГ в изолированном (автономном) режиме и параллельно с энергосистемой.

Выявлены особенности режимов работы генераторов станции.

Результаты работы могут быть использованы в проектной практике электрических сетей с источниками малой генерации.

Библиографический список

1. **Воропай Н. И.** Распределенная генерация в электроэнергетических системах // Матер. Междунар. научно-практ. конф., Малая энергетика - 2005, 2005.
2. **Схема** развития электрических сетей 35-500 кВ Ярославской энергосистемы до 2020 года с перспективой на 2030 год.

*Е.Р. Соловьев, В.С. Молодкина, маг.;
рук. А.Е. Аржанникова, В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НА ПРИМЕРЕ СУЗДАЛЬСКОГО РЭС

Одним из ключевых мероприятий Программы инновационного развития на 2021-2025 годы с перспективой до 2025 г ПАО Россети является энергоэффективность и снижение потерь, например за счет применения новых технологий и материалов в электроэнергетике [1].

В рамках взаимодействия ИГЭУ с филиалом ПАО «Россети» «Владимирэнерго» по основным технологиям инновационного развития и реализации концепции «Цифровая трансформация 2030» ведутся научно-исследовательские работы по внедрению в распределительные сети Суздальского РЭС Владимирэнерго энергосберегающих трансформаторов с сердечниками из аморфной стали.

Исследования раскрывают следующие мероприятия:

- выбор оптимальных сечений и снижение потерь в воздушных и кабельных линиях с построением экономических токовых интервалов с использованием современных стоимостных показателей;

- снижение потерь холостого хода в трансформаторах за счет применения в них сердечников, выполненных из аморфной стали. В ИГЭУ в исследовательской лаборатории «Цифровая подстанция» осуществляется исследование характеристики трансформаторов, разрабатываемых совместно с ИГЭУ на предприятии ООО «НПК «АВТОПРИБОР» г. Владимир и планируемых к установке в опытную эксплуатацию;

- доработка автоматизированных точек коммерческого учета электроэнергии, позволяющих удаленно получать информацию для анализа потерь в трансформаторах на примере КТП-371 (мачтового типа) и КТП-223 (киоскового типа) Суздальского РЭС;

- внедрение в эксплуатацию на полигоне Суздальского РЭС опытного образца цифровой подстанции КТП-223 ИГЭУ.

Библиографический список

1. **Положение** ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» 2019 г. / Электронный ресурс <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf>.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ В МАКЕТЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЛАВКИ ЛЬДА НА ЛЭП

Важнейшими задачами электроэнергетики являются снижение количества и длительности отключений. Образование наледи на высоковольтных линиях электропередачи ведёт к увеличению вероятности их обрыва, что влечёт за собой отключение потребителей.

В рамках студенческой работы было принято решение об исследовании возможных способов борьбы с наледью на проводах. Важно понимать, что проблема гололеда на проводах остается актуальной на сегодняшний день. В качестве основной была выбрана идея создания передвижного устройства, которое осуществляет плавку льда за счёт энергии, снимаемой с первичного провода с помощью трансформатора тока [1].

Целью работы является разработка цепи питания для макета устройства, способного предотвращать и устранять налесь на высоковольтных линиях электропередачи.

В реализации идеи участвовали студенты ИГЭУ ЭЭФ (гр. 4-27) А.В. Фролов, Ю. А. Чудинов и РТУ МИРЭА А.В. Лебедев. В рамках работы были проведены исследования особенностей функционирования и взаимодействия таких электрических элементов как: трансформатор тока, микропроцессор на платформе Arduino, преобразователь постоянного напряжения, двигатель постоянного тока, блок аккумуляторных батарей и др.

Результатом работы является проектирование и исполнение системы питания электрических элементов, а также настройка и синхронизация цепи по рабочим параметрам электроустановки. А именно: формирование плат защиты, преобразования и индикации состояния сети.

Полученные результаты могут быть использованы в электроэнергетической системе для обеспечения надёжности функционирования линий электропередачи.

Библиографический список

1. **Трансформаторы** тока / В.В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, Л. В. Жалалис. // Энергия, Ленингр. отделение, 1980. — 334с.

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

РАЗРАБОТКА МАКЕТА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЛАВКИ ЛЬДА НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Одной из приоритетных задач электроэнергетики является снижение количества и длительности отключений. Образование наледи на высоковольтных линиях электропередачи ведёт к увеличению вероятности их обрыва, что влечёт за собой отключение потребителей.

В рамках студенческой работы было принято решение об исследовании возможных способов борьбы с наледью на проводах. Следует отметить, что несмотря на большое количество публикаций, научных и технических решений проблема гололеда на проводах остается актуальной. В качестве основной была выбрана идея создания передвижной установки, осуществляющей локальное разрушение ледяного покрова за счет энергии, снимаемой с первичного провода с помощью трансформатора тока [1].

Целью работы является разработка макета устройства, способного предотвращать и устранять наледь на высоковольтных линиях электропередачи.

В реализации идеи участвовали студенты ИГЭУ ЭЭФ (гр. 4-27) А.В. Фролов, Ю. А. Чудинов и РТУ МИРЭА А.В. Лебедев. В рамках работы были проведены исследования особенностей функционирования и взаимодействия таких электрических элементов как: трансформатор тока, микропроцессор на платформе Arduino, высокочастотный индукционный нагреватель, двигатель постоянного тока, блок аккумуляторных батарей и др.

Результатом работы является собранный макет, позволяющий качественно продемонстрировать принцип действия, выяснить физические закономерности, потенциальные возможности и ограничения для создания опытного образца устройства, которое ещё предстоит сконструировать.

Личным вкладом в развитие проекта является как формирование, так и сборка функциональных элементов передвижения, нагрева, а также корпуса самого устройства. Кроме этого, произведена отладка взаимодействия компонентов системы и устранены недочёты.

Полученные результаты могут быть использованы в электроэнергетической системе для обеспечения надёжности функционирования линий электропередачи.

Библиографический список

1. **Трансформаторы** тока / В.В. Афанасьев, Н. М. Адоноев, Л. В. Жалалис. // Энергия, Ленингр. отделение, 1980. — 334с.

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

ПОЛУЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ЭНЕРГООБЪЕКТА ИВАНОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Основным инструментом, используемым в расчетах электроэнергетических режимов энергосистем, является информационная модель, а одним из ключевых факторов, влияющих на точность расчетов, является способ задания электрических нагрузок [1÷2].

Наиболее полно свойства нагрузки отражают статические характеристики: зависимости активных и реактивных мощностей потребителей от уровней напряжения [2].

Целью работы является получение статических характеристик комплексной нагрузки подстанции «Ивановская 1» с напряжениями 110/6 кВ Ивановской энергосистемы.

Для получения статических характеристик нагрузки по напряжению использованы результаты пассивных экспериментов на энергообъекте, а также вычислительных экспериментов с применением специализированного программного комплекса «EnergyCS Режим». Обработка результатов активных и пассивных экспериментов произведена с использованием программного комплекса Microsoft Excel.

Получены коэффициенты квадратичных полиномов, определяющих статические характеристики нагрузки по напряжению по активной и реактивной мощности для различных присоединений к шинам 6 кВ ПС 110 кВ «Ивановская 1».

Полученные результаты могут быть использованы в создании единой информационной модели Ивановской энергосистемы для проведения расчетов электроэнергетических режимов.

Библиографический список

1. **Определение** статических характеристик нагрузки по напряжению в электрических сетях с комплексной нагрузкой / А. А. Шульпин, А. Ю. Мурзин, О. А. Бушуева и др. / Вестник, №6, Иванов. гос. энергет. ун-т., 2014.– С. 22 – 30.

Д.Ю. Рыбкова, студ.;
рук. А.А. Галимова к.т.н., доц.
(СамГТУ, Самара)

ЗАЩИТА ЛИНИЙ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Для систем электроснабжения низкого напряжения 0,4 кВ согласно п. 1.4.5. ПУЭ обязательным условием выбора автоматических выключателей является проверка срабатывания выключателя при коротком замыкании. В сетях низкого напряжения критерием выбора защитного аппарата является однофазное короткое замыкание в наиболее удаленной точке системы электроснабжения, так как при таком замыкании ток имеет минимальное значение.

В протяженных линиях с распределенной нагрузкой, особенно небольшой мощности ток короткого замыкания в конце линии, как правило, меньше или близок по значению току нагрузки в конце линии. В этом случае автоматические выключатели, установленные в распределительном устройстве 0,4 кВ на ТП, не отключат нагрузку при возникновении короткого замыкания в конце линии.

В основе методики, описанной в статье, лежит секционирование линии. Вся линия электропередачи делится на участки, каждый из которых защищен своими предохранителями.

Задача выбора узла для установки защитного аппарата участка линии электропередачи может быть решена графически.

Методика применялась при проектировании линии наружного освещения автомобильной дороги, принадлежащей к категории общегородской магистрали протяженностью 6 км. Линия наружного освещения имеет четыре магистральных участка, протяженностью около 3 км каждый. В результате секционирования каждая магистраль разделена на 4-5 участков, каждый участок защищен группой предохранителей с номинальными токами, соответствующими условиям срабатывания. Соединение участков выполнено с помощью мачтовых рубильников, в каждом из которых установлены предохранители с параметрами, выбранными по приведенной методике. При этом каждый участок светильников линии наружного освещения защищается от токов короткого замыкания своими предохранителями.

Библиографический список

1. **Ф.Ф.Карпов, В.Н.Козлов.** Справочник по расчету проводов и кабелей. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1964.
2. **ГОСТ 28249-93.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ.
3. **Электротехнический** справочник. Т.1. //Под общ. ред. П.Г. Грудинского и др. – 5-е изд., испр. – М.: Энергия, 1974.

СЕКЦИЯ 15

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

Секретарь – ассистент Кузьмина Н.В.

А.С. Алексинский, П.М. Воронин, Д.А. Маслов, студ.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЛОКАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СЕТЬ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ STM32 ДЛЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ШИН

Одним из перспективных направлений развития релейной защиты в процессе цифровизации электроэнергетических объектов, в том числе создании Цифровой подстанции, является разработка мультиагентных защит представляющих собой совокупность микропроцессорных терминалов-агентов объединённых в локальную информационно-управляющую сеть (ЛИУС).

С целью сокращения трафика в локальной информационно-управляющей сети релейной защиты предусматривается передача векторных измерений и технологических дискретных сигналов. Это позволяет снизить скорость передачи данных, повысить надёжность и устойчивость связи.

Разработка проприетарных протоколов обмена данными ориентированных под конкретные задачи с передачей данных, как в темпе процесса, так и с допустимыми технологическими задержками, даёт преимущество перед протоколом МЭК 61850 9.2 требующим высокой скорости передачи. Для построения ЛИУС используются интерфейсы RS485, Ethernet. В качестве протокола канального уровня часто применяется ModBus-RTU. Сеть мультиагентной релейной защиты организуется по принципу peer-to-peer с передачей маркера, что исключает коллизии.

Для мультиагентной защиты шин распределительных устройств напряжением 6-35 кВ разработан проприетарный протокол передачи данных обеспечивающий передачу через каждые 10 мс значения амплитуд и фаз токов каждого присоединения, а также признаки насыщения трансформаторов тока, являющиеся сигналами о внешнем коротком замыкании.

Библиографический список

1. **Мультиагентная релейная защита энергообъекта. Состояние и перспективы развития электро и теплотехнологии.** Бенардосовские чтения, 29-31 мая, 2019 / С.О. Алексинский, В.Д. Лебедев.

*Д.С. Черный, студ.;
рук. Т.Ю. Шадрикова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УБК ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛЭП В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PSCAD

Устройство блокировки при качаниях (УБК) предназначено для предотвращения излишних срабатываний дистанционной защиты при возникновении качаний в электрической системе.

В работе собрана модель сети напряжением 110 кВ в программном комплексе PSCAD. На ЛЭП 110 кВ разработана имитационная модель трехступенчатой дистанционной защиты, I и II степени которой дополнены УБК (рис. 1).

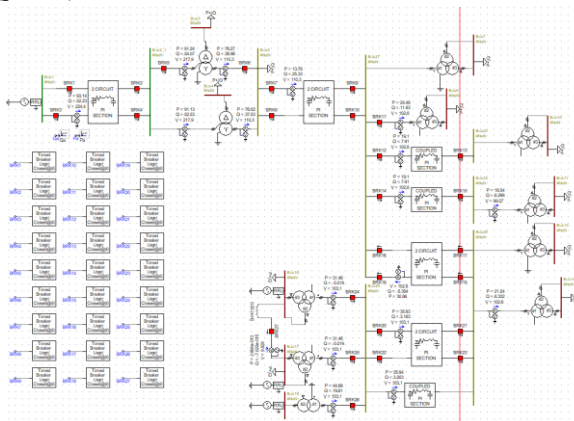


Рис. 1. Схема сети 110 кВ в программном комплексе PSCAD

УБК состоит из фильтра токов обратной последовательности, чувствительного и грубого реле, контролирующих скорость изменения во времени векторов токов обратной dI_2 и прямой dI_1 последовательностей. Уставка по приращению во времени тока обратной последовательности обеспечивает работу защиты при несимметричных КЗ. Для повышения чувствительности к симметричным КЗ имеется дополнительный канал, реагирующий на приращение вектора тока прямой последовательности, обеспечивающий также повышение чувствительности к некоторым видам несимметричного КЗ.

Исследования на модели сети 110 кВ показали правильность функционирования разработанного алгоритма УБК.

*И. А. Миловидов, В. Е. Розин, маг.;
рук. А. А. Фомичев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПО АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА

Целью работы является создание алгоритма, позволяющего определить относительное значение напряжения на шинах отходящих присоединений 6-10 кВ с целью повышения эффективности токовых защит (ТО, МТЗ с пуском по напряжению) без использования цепей напряжения.

Рассматривалась схема, состоящая из системы, понижающего трансформатора и нескольких отходящих присоединений, некоторые из которых имеют электродвигатели в качестве нагрузки. Исходная схема была приведена к последовательной цепи, состоящей из эквивалентных ЭДС и сопротивления, сопротивления поврежденного присоединения. Значения эквивалентной ЭДС и сопротивления являются изменяемыми параметрами, поэтому расчеты ведутся в относительных единицах. За базисное напряжение принимается величина эквивалентного ЭДС, а за базисный ток – отношение эквивалентных ЭДС к сопротивлению.

При работе алгоритма принимаются следующие допущения:

- ток короткого замыкания отличается по фазе от тока нагрузки не более, чем на 90 градусов;
- эквивалентное сопротивление считается индуктивным.

Порядок действий в алгоритме, следующий:

1. На основе преобразований Фурье из тока короткого замыкания выделяется апериодическая составляющая;
2. Определяется вид короткого замыкания;
3. Определяется постоянная времени апериодической составляющей (отношение индуктивного и активного сопротивлений цепи);
4. По виду короткого замыкания задается фаза между током и напряжением (например, для металлического трехфазного короткого замыкания фазу можно принять равной углу отходящего фидера);
5. По векторной диаграмме напряжений и заданной фазе между током и напряжением находится относительное значение напряжения на шине отходящего присоединения.

Работа выполнялась путем математического моделирования в среде MathLab.

И.А. Галанин, маг.;
рук. доц. Т.Ю. Шадрикова,
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОБЗОР ПРИМЕНИЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В связи с развитием компьютерных технологий стало возможно применение методов машинного обучения для целей релейной защиты. Это перспективное направление развития, так как позволяет обнаружить закономерности не очевидные либо слишком сложные человеческому разуму.

Степанова Д.А. в статье «Глубокое обучение в релейной защите для цифровой энергетики» исследует применение метода опорных векторов (Support Vector Machine) для построения характеристики срабатывания реле сопротивления, а также для создания интеллектуальной релейной защиты. Интеллектуальная релейная защита – это защита имеющая возможность корректировать характеристику срабатывания в условиях ее эксплуатации путем обучения нейронной сети на новых прецедентах.

В статье «Управление на основе вложенного обучения с подкреплением для релейной защиты в системах с распределенной электроэнергетикой» авторы исследуют алгоритм релейной защиты в системах с распределенной электроэнергетикой. Для этого применяется метод глубокого обучения с подкреплением.

В статье «Применение метода k-ближайших соседей в задаче распознавания режимов электрических» рассматривается метод k-разбиения в сети с распределенной генерацией для построения характеристики дистанционной защиты, которая будет лучше отстроена от режимов, в которых защита не должна срабатывать, и иметь большую чувствительность.

Библиографический список

1. **Степанов Д.А.** Глубокое обучение в релейной защите цифровой энергетики // Конф.: 2-я Международная молодежная научно-техническая конференция по релейной защите и автоматике (РЗА), 2019 . DOI: [10.1109/RPA47751.2019.8958378](https://doi.org/10.1109/RPA47751.2019.8958378).
2. **Дунци Ву.** Управление на основе вложенного обучения с подкреплением для релейной защиты в системах с распределенной электроэнергетикой// arXiv:1906.10815v1 [eess.SY], 2019.
3. **Куликов А.Л.** Применение метода k-ближайших соседей в задаче распознавания режимов электрических // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Выпуск 71, кн. 2, 2020. – С. 143 – 152.

*Н.Б. Холов, асп.; М.Б. Солиева, студ.;
рук. А.А. Волошин к.т.н., доц.
(НИУ "МЭИ", г. Москва)*

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ПРЕОБЛАДАНИЕМ МАЛЫХ ГЭС

В последние годы наблюдается постепенный переход мировой энергетики в сторону от централизованной генерации к более децентрализованной. Во многих странах за последнее десятилетие произошло бурное развитие объектов распределенной генерации (РГ), в основном за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветер, солнце, малые гидроэлектростанции (МГЭС). Наиболее распространенными возобновляемыми источниками энергии в качестве объектов РГ для горных удаленных районов является МГЭС, которые характеризуются самой низкой производственной себестоимостью.

Помимо преимуществ, связанных с безопасностью для окружающей среды, интеграция объектов РГ повышает надежность электроснабжения и способствует снижению общих потерь мощности, из-за своего близкого расположения к местам потребления мощности.

Несмотря на эти преимущества, подключение большого количества источников РГ приводит к некоторым новым проблемам в системах РЗА. Однако важным в этом направлении является анализ основных параметров МГЭС в установившихся и аварийных режимах, при работе параллельно с энергосистемой и в автономном режиме, что подтверждает актуальность данной работы.

Таким образом, необходимо проводить комплексный расчетный анализ возможности надежной работы энергорайонов с объектами МГЭС в следующих возможных режимах работы:

- параллельная работа с энергосистемой с выдачей или без выдачи мощности, а также для поддержания при малых возмущениях;
- автономный режим работы с обеспечением электроснабжения потребителей, с учётом их графиков нагрузки;
- островной режим работы, когда объект МГЭС в нормальном режиме работает параллельно с энергосистемой, но в случае аварии переходит на изолированную работу. Таким образом, островной режим является наиболее тяжелым, так как в этом режиме основные параметры энергорайона с объектами МГЭС быстро изменяются в зависимости от нагрузки.

Рекомендуется разрабатывать специальную автоматику, для сохранения устойчивости, когда объект РГ переходит в островной режим работы от основной сети.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ НАСЫЩАЕМОГО ТРАНСФОРМАТОРА БЛОКА ПИТАНИЯ ОТ ПЕРВИЧНОГО ТОКА ЛИНИИ

При разработке и создании высоковольтных цифровых измерительных трансформаторов ключевым вопросом встает организация питания электронных модулей, находящихся на первичной стороне цифрового трансформатора. Для решения указанной задачи могут быть использованы различные технические решения. Учитывая необходимость выполнения условий резервирования по питанию, лучшим решением может быть использование различных источников с различной физической реализацией, например, организация питания в виде отбора энергии от напряжения сети и от тока. Питание от тока в режиме короткого замыкания, когда напряжение существенно просаживается, позволит обеспечить надежное питание.

Наибольшей сложностью организации питания от тока линии является широкий диапазон первичных токов даже в нормальных режимах, не говоря о режимах при коротких замыканиях. Для решения указанной задачи решено было использовать явления насыщения магнитопровода. Однако, происходящие при этом сложные динамические процессы потребовали более глубокого их исследования.

Процесс перемагничивания насыщаемого трансформатора для понимания усложнен тем, что нагрузкой для него является нелинейное устройство на основе полупроводниковых выпрямителей и конденсаторов.

Исследование процессов работы трансформатора и блока питания в целом выполнялось как на основе физического, так и имитационного моделирования, с применением программных комплексов Multisim и Matlab. Физическое моделирование позволило верифицировать математические модели, добившись приемлемой точности.

Дальнейшее развитие данной работы будет направлено на подбор параметров насыщаемого трансформатора и на разработку схемы ограничения выдаваемой мощности блоком питания при токах короткого замыкания высокой кратности.

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

ПРИМЕНЕНИЕ COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЛЭП

Переходные процессы, сопровождающие однофазные замыкания в ВЛЭП среднего напряжения характеризуются широким спектром частотных компонент в токах и напряжениях.

Сложность переходных процессов при однофазных замыканиях на землю в воздушных ЛЭП (ВЛ) с изолированной нейтралью обуславливает необходимость точного расчёта параметров линий. Современные программные комплексы имитационного моделирования позволяют эффективно заменять физическое моделирование. Программный комплекс COMSOL Multiphysics, на основе метода конечных позволяет моделировать объекты 1, 2 и 3-х мерном пространстве, например, для классической электродинамики на уравнениях Максвелла. Для определения параметров ВЛ была разработана 2D имитационная модель воздушной ЛЭП, расположение которой определено опорой ВЛ-10(6) кВ.

Для определения продольных частотно зависимых параметров ВЛ использовалось уравнение для расчета векторного магнитного потенциала в частотной области (1), а так же был сделан ряд допущений (о плоскопараллельной симметрии, модель не учитывает влияние заземленных опор ВЛ и изоляторов на величину параметров ВЛ).

$$(j\omega\sigma - \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon) \cdot \vec{A} + \vec{\nabla} \times \left(\frac{1}{\mu_0 \mu} \vec{\nabla} \times \vec{A} \right) = \vec{J}, \quad (1)$$

где ω – циклическая частота; σ – активная проводимость; ε – относительная диэлектрическая проницаемость; μ – относительная магнитная проницаемость; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Полученные величины параметров ВЛ позволяют получить более корректные модели для исследований функционирования устройств релейной защиты и определения места повреждения.

Библиографический список

1. Панащатенко А.В. Современные средства для организации интеллектуального учета электрической энергии в сетях 6(10) кВ: Электроэнергия. Передача и распределение / Панащатенко А.В., Яблоков А.А., Лебедев В.Д., Ладанов С.А., Кузьмина Н.В., Готовкина Е.Е., 2020. № 6 (63). – С. 54-57.

*А. В. Лебедев, студ.
(РТУ МИРЭА, г. Москва);
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ МАКЕТА УСТРОЙСТВА ПЛАВКИ ЛЬДА НА ВЛЭП

Образование наледи на высоковольтных линиях электропередач ведёт к увеличению вероятности их обрыва, что влечёт за собой отключение потребителей и крупным финансовым потерям.

В рамках студенческой работы выдвинута идея создания передвижной установки, осуществляющей локальное разрушение ледяного покрова за счет энергии, снимаемой с первичного провода с помощью трансформатора тока. Проведены исследования особенностей функционирования и взаимодействия таких электрических элементов как: трансформатор тока, микропроцессор на платформе Arduino, высокочастотный индукционный нагреватель, двигатель постоянного тока, блок аккумуляторов и др.

Для управления устройством разработан электронный блок. Ключевыми компонентами которого являются микроконтроллер Arduino, контроллер управления, система датчиков (температуры, давления, влажности), определяющих погодные условия с вероятностью возникновения наледи, а также устройства дальней и ближней связей на основе GSM-модема и bluetooth модема соответственно. Для автоматического управления устройством (включением функций плавки наледи и движения по проводу) предполагается использовать алгоритмы управления, исходными данными для которых будут являться значения температуры, давления и влажности, полученные от соответствующих датчиков. Алгоритм учитывает условия образования ледяной корки, главными из которых является точка росы (ТР), а точнее дефицит точки росы (ДТР), вычисляемый с помощью табличных значений по формуле $DTP = T - TP$, где T – температура в данный момент в данной точке. В [1] представлена эмпирическая зависимость, дающая приемлемые результаты и при отрицательных температурах:

$$TP = (235 \cdot \beta) / (7.45 - \beta) \quad (1)$$

где $\beta = \lg RH + (7.45 \cdot T / 235 + T) - 2$, RH – относительная влажность воздуха [%]; T – температура воздуха [°C].

По итогу устройство может выполнять как функции борьбы с обледенением, так и функции измерения и передачи данных о погодных условиях, температуре провода в месте расположения устройства. В реализации идеи участвовали студенты ИГЭУ ЭЭФ: А.В. Фролов, Ю. А. Чудинов и РТУ МИРЭА А.В. Лебедев.

Библиографический список

1. Электронный ресурс: <https://www.pogoda.by/glossary/?nd=17&id=186>

*А.А. Манякова, Е.А. Комасова, маг.;
рук. Л.Г. Мигунова, к.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Надёжность и эффективность являются одними из главных показателей качества функционирования релейной защиты и автоматизации электроэнергетических систем. В настоящее время в связи с введением в работу современных микропроцессорных устройств РЗА происходит увеличение количества ошибок обслуживающего персонала, что приводит к снижению эффективности работы энергосистем. Для снижения числа неправильных действий РЗА необходимо либо обеспечить почти полное отсутствие вмешательства в работу устройств релейной защиты персонала, либо более высокую надёжность. Актуальной проблемой в настоящее время остается разработка новых методов, которые обеспечивают повышение надёжности систем РЗА на базе микропроцессорной техники.

В связи с дальнейшей перспективой совершенствования методов и средств расчета надёжности релейной защиты энергосистем представляется целесообразным произвести анализ существующих методов расчета надёжности РЗА. В связи с поставленной целью работы, были представлены решения следующих задач:

- выявление причин неправильных действий систем РЗА;
- выявление достоинств и недостатков существующих методов расчета надёжности;
- анализ формул расчета показателей надёжности РЗА.

При разборе методик расчета показателей надёжности РЗ можно выделить аналитические методы расчета и метод имитационного моделирования. Метод цепей Маркова – единственный из аналитических методов расчёта надёжности, позволяющий описать процесс смены состояний системы релейной защиты и автоматизации и по итогам расчёта получить переходные значения функции неготовности.

Библиографический список

1. **Анищенко В.А., Колосова И.В.** Основы надёжности систем электроснабжения. – Мн.: БНТУ, 2007. – 151 с.
2. **Шалин А.И.** Надёжность и диагностика релейной защиты энергосистем: учеб. пособ. / А.И. Шалин. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 384 с.

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

АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА ТОКОВОЙ РАЗГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Энергетика в настоящее время становится системой жизнеобеспечения устойчивого развития общества, а в совокупности с цифровизацией определяет условия жизнедеятельности цивилизации как «большой энергоинформационной системы».

Важную роль играет термин «цифровизация», как перенос принципов построения цифровых вычислительных систем на системы производственные. Одним из направлений развития цифровизации в электроэнергетике является «цифровая подстанция».

Необходимым условием для решения задач управления режимами энергосистем является разработка алгоритмов управления режимом распределительной сети и создание архитектуры управления цифровыми подстанциями, на базе стандарта серии МЭК 61850.

Адаптивный алгоритм работы системы длительной автоматической разгрузки по току позволяет определять опасные сечения в магистральной распределительной сети, максимальные и аварийные допустимые перетоки в опасных сечениях по заданным условиям, а также прогнозировать пропускную способность линий в различных схемно-режимных ситуациях и определять «узкие места» в схемах.

Алгоритмизация процесса токовой разгрузки была апробирована на имитационной модели распределительной сети 6/0,4 кВ в ПО *PScad*.

Исследования показали, что алгоритм может работать при различных уставках длительно допустимого тока, что дает возможность применять его для различных элементов сети с различными предельно допустимыми токами.

Разработанный алгоритм может быть осуществим с помощью различных цифровых устройств в составе цифровой трансформаторной подстанции, что повысит надежность энергоснабжения потребителей, повысит экономичность за счет применения трансформаторов с большими коэффициентами загрузки.

Библиографический список

1. Лоскутов, А.Б. Разработка алгоритма системы управления и релейной защиты в замкнутых распределительных сетях / Лоскутов А.Б., Панкова А.С., Пронина О.А., Чумарин К.Е. // Т 78 Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2019. №4(127). – 204 с.

*А. Е. Петров, студ.;
рук. Кутумов Ю. Д., асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ I СТУПЕНИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Актуальность проблемы. Проблемный вопрос, рассматриваемый в рамках данной работы, является актуальным, так как в настоящее время в России получают распространение устройства релейной защиты ЛЭП, в перечне функций которых присутствует I ступень дистанционной защиты, подключенная на «петлю» КЗ на землю. Методики расчёта данной защиты хорошо известны [1-3]; однако, в ряде случаев (например, при анализе правильности работы защит или при плановом пересчёте их уставок) требуется адаптировать известные методики для расчётов с применением программно-вычислительных комплексов (например, таких, как ПВК АРМ СРЗА).

Содержание работы. В рамках данной работы была дана оценка устойчивости функционирования I ступени дистанционной защиты от КЗ на землю ВЛ 110 кВ Ивановская-15-Ивановская ТЭЦ-3, установленной со стороны ПС Ивановская-15. Для этого исследуемая ступень защиты была проверена на предмет устойчивого несрабатывания при внешних металлических КЗ и КЗ через переходное сопротивление, а также устойчивого срабатывания при КЗ в пределах защищаемой зоны. Кроме того, в дополнение к основному заданию, были апробированы методики расчёта уставок данной защиты, приведенные в [1, 2] и дана оценка сферы их применения.

Результаты. При существующих уставках I ступень дистанционной защиты от КЗ на землю исследуемой ВЛ 110 кВ удовлетворяет требованиям селективности; для повышения чувствительности защиты целесообразно несколько увеличить уставку по активной оси. При расчёте уставок данной защиты целесообразно пользоваться методикой, приведенной в [1], из-за сложного характера взаимоиндуктивной связи с другими ЛЭП исследуемого энергорайона.

Библиографический список

1. Циглер, Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. Перевод с англ. //Под ред. А.Ф. Дьякова / Г. Циглер. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 322 с.
2. **Рекомендации** по расчету уставок резервных защит ЛЭП ВН на базе шкафов НПП "ЭКРА". Версия 12. – Чебоксары, ООО НПП "ЭКРА", 2014.
3. **Бринкис, К.** Методика выбора уставок дистанционных защит и защит нулевой последовательности фирмы Siemens в электросети 110-220 кВ / К. Бринкис.

*В.Р. Рафиков, студ.; Е.Е. Готовкина, асп.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТИПОВЫХ КРИВЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА ЦИФРОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Развитие микропроцессорных технологий позволило перейти к использованию маломощных первичных измерительных преобразователей тока и напряжения. Современные микропроцессорные устройства релейной защиты, автоматики и учета электроэнергии получают данные о мгновенных значениях тока и напряжения в цифровом виде по протоколу IEC 61850-9-2, а их питание больше не осуществляется по измерительным цепям. В связи с этим, возможно использование на энергообъектах малогабаритных маломощных преобразователей тока, встроенных в цифровые трансформаторы.

Основной целью исследования является построение типовых зависимостей для проектирования малогабаритных трансформаторов тока, сохраняющих эксплуатационные характеристики в широких диапазонах номинальных первичных токов.

Авторами проведены экспериментальные исследования зависимости максимальной температуры серийных и экспериментальных образцов малогабаритных трансформаторов, отличающихся размерами магнитопровода, количеством витков и диаметром провода вторичной обмотки, от величин номинальных токов и токов короткого замыкания. Определено время, за которое элементы преобразователя нагреваются до допустимой температуры при различных значениях токов короткого замыкания. Получены зависимости метрологических характеристик исследуемых образцов от величины первичного тока.

В результате выполненных экспериментальных исследований построены типовые кривые, позволяющие определять основные конструктивные характеристики малогабаритных преобразователей тока цифровых трансформаторов по требуемому диапазону номинальных токов и классу точности. Полученные зависимости могут быть использованы при проектировании измерительных преобразователей указанного типа.

А.А. Суровцов, А.М. Чикурин, маг.;
рук. А.А. Фомичев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЗАМЕРАМ ТОКОВ В ДВУХ ТОЧКАХ СЕТИ

Целью работы является создание алгоритма, позволяющего определить относительное значение напряжения на шинах отходящих присоединений 6-10 кВ с односторонним питанием для разработки алгоритмов повышения чувствительности токовых защит.

За основу взята схема, включающая систему, понижающий трансформатор и отходящие присоединения, включая присоединения с электродвигателями. По результатам моделирования сети, расчет токов и напряжений ведется в относительных единицах, где в качестве базисного значения напряжения используется эквивалентная ЭДС, представляющая совокупность ЭДС системы и электродвигателей, а в качестве базисного тока – отношение эквивалентных ЭДС к эквивалентному сопротивлению, которое представляет собой параллельное сложение сопротивлений системы и неповрежденных присоединений сети.

Порядок действий в алгоритме следующий:

1. В нормальном режиме измеряются вектора токов в рассматриваемом присоединении и в питающем выводе трансформатора;
2. После возникновения короткого замыкания токи нормального режима запоминаются и измеряются вектора токов в указанных в п.1 точках;
3. Определяется отношение разности токов на питающем выводе трансформатора и рассматриваемом присоединении в нормальном режиме и разности токов в указанных точках в режиме КЗ. Данное отношение равно отношению напряжений на шинах в нормальном режиме и режиме КЗ;
4. На основании найденного отношения напряжений и отношения токов в рассматриваемом присоединении в нормальном режиме и режиме КЗ, находятся относительные значения токов в присоединении и относительные значения напряжений на шине.

Работа выполнялась путем математического моделирования.

Вывод. Разработанная модель может использоваться для исследования токов в ЛЭП 110-220 кВ с односторонним питанием в режимах самозапуска электродвигателей нагрузки.

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ И ОЦЕНКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

При работе электромагнитных трансформаторов напряжения (ТН) могут возникать феррорезонансные явления, которые служат одной из причин их высокой повреждаемости. В сетях с изолированной нейтралью феррорезонанс может возникнуть при дуговых перемежающихся однофазных замыканиях на землю (ДПОЗЗ), явлении «ложной» земли, обрыве линии электропередачи и «опрокидывании» фазы.

Разработанная методика испытания ТН для оценки возможности возникновения феррорезонанса включает испытания на экспериментальной установке, а также последующие исследования на основе имитационного моделирования. В испытательной установке источником напряжения выступает четырёхквadrантный усилитель PONOVO 4Q, управляемый программно-аппаратным комплексом моделирования в реальном времени Real Time Digital Simulator (RTDS) по оптоволоконной линии связи при помощи протокола AURORA. Выходное напряжение 4Q составляет 1кВ, поэтому для увеличения напряжения до 6-35 кВ используются специализированные повышающие трансформаторы. Для измерения токов и напряжений используются прецизионные цифровые комбинированные измерительные трансформаторы. Емкости сети и нейтрали моделируются с помощью высоковольтных конденсаторов. Имитация ДПОЗЗ выполняется при помощи специализированного устройства, управление которым осуществляется источником напряжения PONOVO PAV250Bi Voltage Amplifier.

Данные, полученные на экспериментальном этапе, могут быть использованы для создания имитационных моделей, в которых возможно задание шага дискретизации варьируемых параметров для испытания ТН и проведение ряда экспериментов, которые трудно или опасно проводить на полигоне. Результатами исследования явилось построение безопасной эксплуатационной зоны исследуемого ТН.

*Вихарев Д.Ю., студ.;
рук. Родин Н.А., асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА С ТОРОИДАЛЬНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

В настоящее время для целей релейной защиты и автоматики (РЗА) повсеместно применяются электромагнитные трансформаторы тока (ТТ). Особенностью такого преобразователя является насыщение его магнитной системы, которое может привести как к ложным действиям подключаемых устройств РЗА при внешних коротких замыканиях, так и к неработаваниям этих устройств при внутренних повреждениях.

Целью данной работы является формулировка дифференциального уравнения ТТ, способного описать временную зависимость вторичного тока с учетом нелинейности магнитной системы. Основным допущением заключается в том, что магнитная индукция в некоторой точке ферромагнитного материала есть функция от модуля магнитной напряженности в рассматриваемой точке. С помощью уравнений Максвелла в дифференциальной форме и упрощенного представления конструкции ТТ сформулировано дифференциальное уравнение, описывающее временную зависимость вторичного тока:

$$\frac{di_2}{dt} = - \frac{i_2 [R_{TT} + R_H] + \frac{di_1}{dt} \left[\frac{\mu_0 \omega d}{2\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{\omega d}{2\pi} \int_{R_1}^{R_2} \left[\frac{1}{x} \frac{d\chi}{dH} \Big|_{\frac{i_1 + \omega i_2}{2\pi x}} \right] dx \right]}{L_H + \frac{\mu_0 \omega^2 d}{2\pi} \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{\omega^2 d}{2\pi} \int_{R_1}^{R_2} \left[\frac{1}{x} \frac{d\chi}{dH} \Big|_{\frac{i_1 + \omega i_2}{2\pi x}} \right] dx},$$

где i_1, i_2 – зависимость первичного и вторичного токов от времени; R_1, R_2, d – внешний и внутренний радиусы, высота тороидального магнитопровода; ω, R_{TT} – число витков, активное сопротивление вторичной обмотки; R_H, L_H – активное сопротивление, индуктивность нагрузки; μ_0 – магнитная постоянная в СИ.

Полученное уравнение планируется использовать для целей анализа действия устройств РЗА при внутренних и внешних повреждениях в условиях существования электромагнитного и электромеханического переходных процессов.

Вихарев Д.Ю., студ.;
рук. Родин Н.А., асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С РАВНОМЕРНЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ

Для выбора параметров срабатывания устройств релейной защиты и автоматики должны определяться значения периодической и аperiodической составляющих не только тока короткого замыкания, но также токов отдельных ветвей, что требует учёта электромеханического переходного процесса [1]. Оценка устойчивости работы энергосистем и анализ работы устройств противоаварийной автоматики должны учитывать изменение механических параметров.

Целью работы является создание математической модели вращающейся электрической машины переменного тока, которая позволит провести анализ электромагнитных и электромеханических процессов в установившихся и переходных режимах работы электроэнергетической системы. Такая модель может быть построена на основе упрощенного описания вектора магнитной индукции в равномерном воздушном зазоре [2]. Если воздушный зазор представить в линейном виде, то вертикальную составляющую вектора магнитной индукции можно приближенно представить выражением:

$$B_z(x, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\mu_0 w_m I_m(t)}{\delta n \pi} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi n}{\tau} x - \varphi_m\right).$$

На основе данной модели были построены синхронная и асинхронная машины переменного тока, которые планируется использовать для анализа электромагнитных и электромеханических переходных процессов в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы электроэнергетических систем.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 527335 – 2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Стандартинформ, 2007. – 5 с.
2. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока: учеб. для вузов. – СПб.: Питер, 2010. – 64 с.

*А.А. Юдин, студ.;
рук. А.А. Юдина
(СамГТУ, г. Самара)*

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

В процессе работы топология и переменные состояния электроэнергетической системы постоянно изменяются. Функции систем противоаварийной автоматики в электроэнергетической системе включают в себя поддержание значений переменных состояния электроэнергетической системы в допустимой области и приведение этих значений до допустимых, когда данные переменные выходят за область допустимых пределов.

Важнейшей задачей противоаварийной автоматики является предотвращение общесистемных отключений электроэнергии, сопровождающихся перебоями в электроснабжении потребителей на большой территории.

Основными типами устройств противоаварийной автоматики являются:

АПНУ – автоматика предотвращения нарушения устойчивости организована по иерархическому принципу и включает в себя три уровня: уровень Единой энергетической системы России, уровень взаимосвязанной или региональной энергосистемы, уровень объектов электроэнергетики – локальные автоматические системы;

АЛАР – автоматика ликвидации асинхронных режимов;

АОСЧ – автоматика ограничения снижения частоты, которая включает: автоматический ввод резерва, автоматическую частотную разгрузку, дополнительную разгрузку, частотную делительную автоматику, частотное автоматическое повторное включение;

АОПЧ – автоматика ограничения повышения частоты;

АОСН – автоматика ограничения снижения напряжения;

АОПН – автоматика ограничения повышения напряжения;

АОПО – автоматика ограничения перегрузки оборудования [1].

Библиографический список

1. **Овчаренко, Н. И.** Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: учеб. для вузов / Под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 504 с.

*А.А. Земсков, Е.С. Завьялов, студ.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРЕДА РАЗРАБОТКИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32CUBEIDE И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Современные устройства релейной защиты и автоматики строятся на основе высоко интегрированных микроконтроллеров позволяющих реализовывать ввод от 3-х до 8 аналоговых сигналов тока и напряжения с динамическим диапазоном, требующим разрешения не менее 16 разрядов, а также обладающих скоростью ввода до 0.1 Msp. Микроконтроллеры обеспечивают ввод и вывод дискретных сигналов, а также поддерживают сетевые протоколы связи RS-485, Ethernet. Из современных 32-х разрядных микроконтроллеров удовлетворяющих требованиям наиболее перспективными считаются STM32F4 и STM32L4. Их процессоры позволяют обрабатывать данные в форме с плавающей запятой. Для разработки прикладного программного обеспечения РЗА используется современная интегрированная программная инструментальная среда STM32CubeIDE.

STM32CubeIDE-это усовершенствованная платформа разработки на основе языка C/C++ с периферийной конфигурацией, генерацией кода, компиляцией кода и функциями отладки для микроконтроллеров и микропроцессоров STM32 [1].

Для совершенствования инженерной подготовки разработана лабораторная работа на основе отладочной платы STM32P405.

Целью работы является изучение методики разработки прикладных задач РЗА в среде STM32CubeIDE для микроконтроллера STM32F405, а так же изучение его структуры и функционирования.

На первом этапе решена демонстрационная задача изучения функций среды разработки путём разработки программы мигания светодиодом и проведена отладка и прошивка микроконтроллера.

Второй этап предусматривает ввод в микроконтроллер аналоговых сигналов и их обработку.

Результаты НИР будут в дальнейшем использованы для постановки лабораторных работ с реализацией функций РЗА.

Библиографический список

1. **Лабораторный** практикум для изучения микроконтроллеров архитектуры ARM Cortex-M4 на базе отладочного модуля STM32F4 Discovery / Бугаев В.И., Мусиенко М.П., Крайнык Я.М. – М.-Николаев: МФТИ-ЧГУ, 2013. – 71 с.

СЕКЦИЯ 16

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

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

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

*М.М. Дятко, курсант;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.
(КГМТУ, г. Керчь)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ХЕНДЕРШОТА ДЛЯ РАБОТЫ НА СУДАХ

Судовые генераторы предназначены для установки на речных и морских судах для использования их в качестве вспомогательного или аварийного источника электроэнергии [1]. В соответствии с действующими нормами и законодательством, судовые генераторы должны быть обязательно сертифицированы Речным или Морским Регистром.

Недостатки судовых дизель-генераторов:

- потребляемое количество топлива,
- высокая стоимость,
- избыточный шум дизель-генераторов.

Для сокращения потребляемого топлива и частичного устранения данных недостатков оптимальным вариантом является применение генераторов Хендершота.

Работу генератора можно сравнить с работой солнечной батареи, которая производит энергию из солнечного света. Так и генератор вырабатывает энергию, используя возможности окружающей среды.

Конструкция генератора состоит из двух больших обмоток индуктивности, расположенных вместе с обмоткой типа "плетеная корзина", а также нескольких цилиндрических конденсаторов большой емкости и пары наиболее распространенных трансформаторов, а также обмоток с обычными электрическими зуммерами и постоянными магнитами. катушки установлены так, чтобы резонировать друг с другом.

Основные преимущества генератора Хендершота:

- генератор не использует органическое топливо,
- простота конструкции,
- бесшумность работы,
- надежность в использовании,
- не имеет скачков и перебоев напряжения.

Генераторы Хендершота оптимально применять для создания основного и аварийного электрического освещения на судне, для питания бытовых электроприборов на судах, а также для питания электроэнергией личной техники членов экипажа. В будущем этот генератор безтопливной энергии имеет огромный потенциал в использовании для работы на судах.

Библиографический список

1. **Болдырев, О.Н.** Судовые энергетические установки. Комбинированные и ядерные установки. – Северодвинск: Севмашвуз, 2007. – 178 с

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

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУИРОВАНИЮ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Конструкция любого магнитожидкостного виброметрического датчика (МЖВД) включает в себя чувствительный элемент в виде подвижного кольцевого постоянного магнита с магнитным подвесом, который выполнен в виде двух соосно установленных в корпусе магнитов, ориентированных одноименными полюсами относительно полюсов чувствительного элемента. Частота вибраций чувствительного элемента преобразуется в ЭДС, которая индуцируется в измерительной обмотке. Устойчивую левитацию чувствительного элемента обеспечивает магнитная жидкость, которая удерживается пондеромоторной силой [1,2].

При конструировании МЖВД необходимо учитывать следующие условия эксплуатации: температура окружающей среды, атмосферное давление, динамическая деформация поверхности, на которую установлен датчик, внешние электромагнитные воздействия.

В зависимости от влияния внешних факторов выбираются конструктивная схема МЖВД и постоянные магниты с характеристиками, отвечающими условиям эксплуатации.

Так при повышении температуры окружающей среды до 100⁰С значеные остаточной магнитной индукции для магнитов, изготовленных из самарий-кобальтовых сплавов снижаются на 3-5%, а из сплавов неодим-железо бор на 12-15%. Воздействие сильных электромагнитных импульсов влияет на точность показаний датчиков. При эксплуатации МЖВД необходимо выбирать магниты из самарий-кобальтовых сплавов с высоким значением коэрцитивной силы. Это необходимо для обеспечения постоянства метрологических характеристик МЖВД.

Библиографический список

1. **Федосеева В.П., Сайкин М.С.** Разработка магнитожидкостных виброметрических датчиков. В сб. 19-ой Международной Плесской конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям. Сб. науч. трудов. – Иваново, 2020. – С. 262-268.
2. **Сайкин М.С., Федосеева В.П.** Разработка магнитожидкостных датчиков диагностики динамического состояния технических объектов./ Современны наукоёмкие технологии. Региональное приложение», 2020. N3 (63). – С. 83-97.

**К. Кузнецов, курсант;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.
(КГМТУ, г. Керчь)**

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ СУДОВ

Сегодня развитие мирового судостроения определяется не только экономической эффективностью строительства и последующей эксплуатации судна, но и систематически ужесточающимися экологическими требованиями. Наиболее перспективным, наряду с СПГ, является создание судов с электродвигателями.

Учитывая реалии, в последние десятилетия параллельно с классическим судостроением в этой области активно развивается проектирование и строительство судов, использующих альтернативные источники энергии в качестве топлива. Из основных альтернативных источников энергии, применяемых в этой области, можно отметить: энергию ветра, водородную энергию, природный газ (в том числе СПГ), электроэнергию. На сегодняшний день наиболее изученными являются последние [1]. Применение СПГ уже активно используется на судах различных типов и назначения: ледоколах, двухмачтовых танкерах типа "Афрамекс", буксирных судах.

Суда с электродвижением больше не считаются штучным товаром для заказчиков. К таким судам относятся и более крупные суда, в том числе выполняющие коммерческие перевозки, что свидетельствует об экономической эффективности их эксплуатации.

Не остаются в стороне и российские судостроители. В рамках ФЦП "Развитие гражданской морской техники" на 2009-2016 годы и государственной программы Российской Федерации "Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений" на 2009-2019 годы выполнено более 20 НИОКР, в том числе по разработке систем электролиза и их компонентов. В качестве основного источника энергии на судне предусмотрена установка аккумуляторных батарей. В проекте также рассматривается возможность использования входной береговой аккумуляторной станции в качестве альтернативного источника питания.

Рассмотренные варианты производства электрической энергии являются перспективными для судов морского флота.

Библиографический список

1. **Сухов Ф.И.** Альтернативные источники энергии. КноРус, 2020. – 345 с.

Е.И. Лейман, студ.;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.
(КГМТУ, г. Керчь)

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Электрическая система управления – физическое соединение устройств, которое влияет на показатели других элементов или систем. Классическая электрическая система состоит из входа, процесса и выхода. Технические системы, например, насосы, компрессоры, холодильные установки и панели управления двигателями имеют входные и выходные сигналы.

Устройства ввода: датчики, собирают и передают информацию для управления физическим процессом. Входной сигнал – это "причина" изменения в работе системы, а выходной сигнал – это "следствие".

Электрические системы представляют в виде ряда взаимосвязанных блоков и сигналов [1]. Каждый блок изображается со своим собственным набором входов и выходов. Это называют блок-схемой.

Возможно применение систем управления двух различных типов: с разомкнутым контуром и с замкнутым контуром. Система с разомкнутым контуром – это система, которая не имеет обратной связи с входом для коррекции изменений. Управление выходным сигналом осуществляется только путем изменения входного сигнала. Такая система проста в построении и стабильна, однако имеет погрешность выходного значения. Система управления с замкнутым контуром – это система, в которой выход влияет на вход для получения нужного выходного значения. В этом случае система достигает высокой точности, но оказывается более сложной с точки зрения проектирования и изготовления.

Существуют системы с ручным, полуавтоматическим, автоматическим, местным, дистанционным, релейным и пошаговым управлением.

Таким образом, электрические системы управления позволяют решать различные типы задач при разработке и эксплуатации электротехнических комплексов.

Библиографический список

1. Голубев, А.Н., Белоногов, В.Г. Разработка многоканальной системы управления многофазным синхронным электроприводом с улучшенными виброшумовыми характеристиками // Вестник ИГЭУ. 2020. – №. 3. – С. 43-50.

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

УТОЧНЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Анализ научных работ показал, что большинство предлагаемых математических моделей (ММ) электрических генераторов возвратно-поступательного движения (ЭГВПД) строятся на основе теории магнитных цепей (ТМЦ) [1, 2]. Модели такого типа основываются на упрощенном представлении о магнитной системе (МС) и магнитном поле в виде магнитной цепи с соответствующими магнитными проводимостями. Однако в отличие от традиционных электрических машин, ЭГВПД обладают рядом особенностей, опущение которых при их математическом моделировании увеличивает стоимость и длительность процессов разработки и доработки ЭГВПД. Поэтому на начальных этапах электромагнитного расчета и решении задач оптимизации (РЗО) требуется применение адекватных ММ для расчетов электромагнитных величин (ЭМВ) ЭГВПД. Такой ММ может быть модель на основе теории поля. Однако основным ее недостатком является сложность применения для РЗО. В связи с этим предложены новые подходы использования в ММ ЭГВПД на основе ТМЦ уточняющих коэффициентов (коэффициентов рассеяния (КР) и выпучивания (КВ) магнитного потока (МП) в МС) при расчете ЭМВ генераторов. Первый подход, основан на использовании в ММ на основе ТМЦ КР и КВ МП в МС зависящих от координаты подвижной части ЭГВПД. Второй подход, основан на использовании в ММ на основе ТМЦ КР и КВ МП в МС зависящих от координаты подвижной части и площади поперечного сечения магнитопровода ЭГВПД. Предложенные подходы предоставляют возможность разработать уточненные электромагнитные модели (УЭММ) ЭГВПД, которые позволяют, при РЗО ЭГВПД, получить основные ЭМВ генераторов с высокой степенью адекватности. Отличительной особенностью предложенных УЭММ ЭГВПД является учет переменных КР и КВ МП в МС.

Библиографический список

1. **Хитерер, М. Я.** Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения : учеб. пособие / М. Я. Хитерер, И. Е. Овчинников. – СПб. : Корона принт, 2013. – 357 с.
2. **Тарашев, С. А.** Вентильный линейный генератор для систем электропитания автономных объектов: дис. канд. техн. наук: 05.09.01 / С. А. Тарашев. – Самара, 2011. – 129 с.

*А.Д. Семин, студ.;
рук. И.Ю. Долгих, М.Г. Марков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ ТИГЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Одним из распространенных типов электротермического оборудования, применяющегося в металлургии и литейном производстве, являются индукционные тигельные печи. Несмотря на большое количество преимуществ, связанных с эксплуатацией таких печей, они имеют ряд недостатков, одним из которых является сложность получения информации о текущем состоянии футеровочного материала. Это не позволяет в полной мере быть уверенным в безопасности, поскольку неконтролируемый износ футеровки может привести к разливу металла, выходу из строя оборудования и опасной для оператора ситуации.

Для идентификации износа футеровки существуют различные методы обследования [1]. Представленная работа посвящена разработке системы, основанной на использовании микроконтроллера и ориентированной на мониторинг остаточной толщины футеровки тигля, визуализацию уровня его износа, а также при необходимости аварийное отключение печи. Действие комплекса связано с постоянным измерением температуры в контрольных точках на границе слоёв подины и основания тигля. Полученные значения сравниваются с уставками, определяемыми предварительно с помощью заранее построенных и протестированных моделей, симулирующих работу печи при различных уровнях износа футеровки. Измерение температуры осуществляется с помощью термопар, сигнал с которых поступает в коммутатор и далее через усилитель на вход микроконтроллера, в котором аналого-цифровой преобразователь конвертирует полученную информацию на язык микропроцессора. Полученная информация сравнивается с заложенными в микроконтроллер уставками и по последовательному интерфейсу передаётся на светодиодную панель, отражающую текущее состояние футеровки, и в блок управления источника питания, обеспечивающего отключение печи при достижении критического уровня разрушения тигля. Тем самым достигаются повышение безопасности взаимодействия персонала с оборудованием, продление срока службы тигля за счёт своевременного ремонта и предотвращение аварийных ситуаций.

Библиографический список

1. **Оптимизация** и управление электротехнологическими системами. Интенсивный курс. Специализация Ш. – СПб.: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 266 с.

А.А Жолобов, асп.;
рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Необходимость проектирования новых типов шаговых двигателей (ШД) в наше время определяется конкуренцией среди производителей нашей страны, а также с производителями других стран. Существует несколько основных путей для разработки конкурентоспособных двигателей:

1. Снижение себестоимости при производстве с сохранением основных рабочих характеристик двигателей за счёт уменьшения используемых материалов;

2. Улучшение рабочих характеристик при сохранении стоимости и габаритов двигателей за счёт изменения конструкции статора, ротора и обмоток.

Существующие методики проектирования ШД подходят лишь для типовых исполнений. Однако, поиск оптимального варианта конструкции ШД может привести к нетиповым решениям, для которых не существует апробированных методик расчета. Традиционно в подобных случаях в условиях производства создаются и исследуются опытные образцы машин. В настоящее время такой путь считается нецелесообразным.

Один из наиболее прогрессивных путей разработки новых исполнений электрических машин строится на использовании результатов расчета физических полей в цепных моделях, позволяющих имитировать работу устройств в переходных и установившихся режимах. Данный подход напрямую связан с проблемой, получившей сегодня название "технологии цифровых двойников".

Для создания цифрового двойника ШД была использована библиотека моделирования магнитных полей методом конечных элементов EMLib, разработанная в ИГЭУ, которая может быть интегрирована в систему программирования VBA for Excel. Разработан макрос, позволяющий по списку исходных данных, характеризующих конструкцию ШД, строить ее полевую модель при разных положениях ротора относительно статора. На данной модели реализуется серия расчетов при разных положениях ротора и разных значениях токов в обмотках статора. Полученная таким образом матрица индуктивностей обмоток статора аппроксимируется с использованием сплайнов, поставляемых в цепную модель, позволяющую рассчитать динамические режимы работы ШД. В настоящее время ведется разработка данной цепной модели в среде MatLab Simulink SimPowerSystem.

Разработанная модель позволит оптимизировать и ускорить проектирование и проверку нетиповых конструкций без необходимости создания и тестирования опытного образца.

*М.А. Симонов, студ.;
рук. И.С. Снитько, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МНОГООБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Силовые трансформаторы являются одними из важнейших сетевых объектов. Они определяют параметры сети, а также влияют на ее режимы работы.

В [1] приведены модели трехфазных трансформаторов, учитывающие нелинейность магнитной системы, и позволяющие рассчитывать различные режимы работы этих устройств. В [2] приведена модель трехфазного двухобмоточного трансформатора.

Достоинствами данной модели являются быстроедействие, высокая точность результатов и учет технологических особенностей изготовления магнитопровода, влияющих на характеристики трансформатора.

Параметры рассеяния, определяющие работу устройства в режиме короткого замыкания, определяются по результатам решения полевой задачи [2]. Причем данная методика применима как для определения собственных индуктивностей рассеяния, так и для определения взаимного влияния обмоток, расположенных на одном стержне.

Взаимное влияние обмоток, расположенных на разных стержнях, на начальном этапе построения моделей силовых трансформаторов может не учитываться ввиду своей незначительности. Однако при создании цифровых двойников рассматриваемых объектов необходимы точные имитационные модели. Это предполагает, в том числе и учет взаимного влияния несоосных обмоток.

Особенный интерес к учету взаимных индуктивностей возникает при создании моделей для анализа режимов работы трехобмоточных трансформаторов ввиду сильного взаимного влияния обмоток.

Библиографический список

1. **Тихонов, А.И.** Разработка нелинейной модели трехфазного трансформатора для исследования влияния несимметрии магнитной системы на работу устройства в произвольных режимах / Тихонов А.И., Стулов А.В., Каржевин А.А., Подобный А.В. – Иваново: "Вестник ИГЭУ", 2020. – Вып. 1, – 22 – 31 с.

2. **Тихонов, А.И.** Разработка 2D-моделей магнитного поля для реализации технологии цифровых двойников и порождающего проектирования силовых трансформаторов / Тихонов А.И., Стулов А.В., Снитько И.С., Подобный А.В. // Вестник ИГЭУ: Журнал. – Иваново: ООО "ПресСто", 2020. – №3. – С.32 – 43.

*М.А. Симонов, студ.,
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К РАСЧЕТУ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

Заземляющее устройство энергообъекта основным элементом которого является заземлитель, предназначенный для организации растекания токов в грунте, обеспечивает безопасность персонала и электромагнитную совместимость оборудования.

Расчет сопротивления заземляющего устройства необходим при проектировании новых и реконструкции существующих энергообъектов.

Методам расчетов ЗУ посвящены фундаментальные исследовательские работы, в том числе [1], но развитие данного направления остается актуальной задачей.

Работа посвящена развитию метода расчета сопротивления заземляющего устройства и является продолжением работы [2] по разработке метода определения параметров заземляющего устройства в однородной среде.

Развитие метода основано на разработке алгоритма определения параметров заземляющего устройства в грунте, имеющего два слоя с различными проводящими свойствами.

Существенным усложнением модели являются многократные отражения при решении задачи методом зеркальных изображений, что приводит к необходимости использования теории рядов.

В работе используется метод зеркальных изображений для объекта сложной формы задающего распределение потенциала в пространстве.

Определение распределения потенциала осуществляется с помощью интегрирования по трем координатным осям и последующим суммированием. После возможно определение напряженности электрического поля пространства.

Оценка некоторых частей алгоритма осуществлялась при помощи программы COMSOL Multiphysics 5.6 с помощью библиотек Electrostatics.

Библиографический список

1. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоиздат, 1987.
2. Лебедев, В.Д. Определение параметров заземляющего устройства на основе интегральных уравнений электрического поля в программной среде Matlab / «Вестник ИГЭУ» Вып. 2, 2011. – С. 36-39.

*В.А. Порохин, курсант;
рук. А. Е. Савенко, к.т.н., доц.
(КГМТУ, г. Керчь)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА СУДАХ

Солнечная энергия становится одной из самых значимых для человечества. Её неисчерпаемость и экологичность является основными преимуществами среди остальных источников энергии. С каждым годом растет процент, приходящийся на долю солнечной энергии и все больше людей начинают отказываться от использования традиционных источников энергии [1]. В первую очередь это связано с экономической выгодой. Так, в 2018 году солнечная энергия впервые оказалась дешевле энергии, полученной с помощью угля, - на 14%.

В индустрии кораблестроения солнечная энергия также не стоит на месте. Еще в 1995 году в Швейцарии были построены первые пассажирские паромы, работающие на солнечных батареях. Самым крупнейшим же судном стал катамаран *Tuganog* от Planet Solar с 38 тыс. солнечных фотоэлементов на борту, построенный в 2011 году и отправившийся в кругосветное путешествие. Длина судна составила 30 м., а ширина 15 м. Также, судно установило рекорд по дальности плавания и по скорости пересечения Атлантического океана.

Проектов грузовых судов на солнечной энергии немного, но и они также существуют. Например, японская *Eco Marine Power* создала концепт грузового судна с выдвижными парусами, которые являются солнечными панелями.

Использование солнечной энергии на судах может очень сильно изменить экономику и уменьшить затраты на топливо в разы, которые нужны для традиционных источников питания. Окупаемость данного нетрадиционного источника энергии гораздо выше, по сравнению с остальными. Использование солнечной энергии на судах может изменить экологию в лучшую сторону, так как при использовании фотоэлементов нет вероятности разливов топлива и загрязнения атмосферы выхлопными газами.

Прогресс является важной человеческой составляющей, которая толкает нас вперед на создание чего-то нового. И возможно в ближайшем будущем судостроение откажется от традиционных источников питания и перейдет на солнечную энергию.

Библиографический список

1. **Виссарионов, В.И.** Солнечная энергетика. – М.: МЭИ, 2011. – 134 с.

*Л.Г. Степанов, студ.;
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.
(КГМТУ, г. Керчь)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ВМЕСТО КРЕМНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОЦЕССОРОВ

Микроэлектроника, в том числе и процессорная, развивается очень быстро. Согласно с законом Мура, плотность транзисторов на кристалле удваивается каждые 2 года, однако, у этого закона есть предел. Решением данной проблемы может являться поиск новых природных полупроводниковых материалов, обладающих подходящими механическими и химическими свойствами, позволяющими конкурировать с кремнием. Одним из перспективных веществ является дисульфид молибдена. В отличие от графена, который так же рассматривают для использования в данной сфере, сульфид молибдена не нуждается в сложном синтезе. Его перспективность обуславливается широкой распространенностью, подходящей кристаллической решеткой, относительной простотой технологического процесса [1]. Попытки создания функционирующих образцов микроэлектроники из дисульфида молибдена выявили основную сложность использования этого материала в производстве - высокое сопротивление между дисульфидом молибдена и металлическими контактами, что давало большой разброс параметров между различными тестовыми образцами. Потому исследования были направлены на изменение фазового состояния самой молекулы. Результаты показали, что дисульфид молибдена способен существовать в двух различных состояниях, в одном из которых он проявляет свойства полупроводника, а в другом - свойства, характерные для металлов. Используя синтез с применением литийорганических соединений, можно управлять состоянием молекулы дисульфида молибдена, что позволяет изменять состояние молекул в зоне контакта, позволяя создавать стабильные элементы с высокой повторяемостью.

Так, если результаты тестов покажут стабильность состояния молекулы при типичных температурных режимах работы электроники, то внедрение подобных технологий на мировой рынок будет являться лишь вопросом времени и инвестиций в данную сферу исследований.

Библиографический список

1. Naik S.G., Rabinal M.H.K. Molybdenum disulphide heterointerfaces as potential materials for solar cells, energy storage, and hydrogen evolution // Energy Technology 2020. №6. –Pp. 1901299.

СЕКЦИЯ 17

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

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

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

А.А.Бегунова, А.М.Анисимов, студ.;
рук. Н.В.Ушакова ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

В начале XXI века мировая электроэнергетика вступила в новый этап развития, связанный с цифровой трансформацией. Актуальность и необходимость процесса цифровизации в электроэнергетической отрасли не вызывает сомнений, поскольку он направлен на формирование энергетики будущего на новой основе [1].

Целью цифровой трансформации является преобразование энергетической инфраструктуры Российской Федерации посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для повышения эффективности, безопасности и бесперебойности ее функционирования [2].

Для достижения системного эффекта от цифровизации нужно объединить усилия всех сторон – государства, компаний, инновационного общества, науки.

В 2017 году цифровизация экономики была включена в перечень основных направлений стратегического развития РФ до 2025 года [3]. В том же году была утверждена Правительством РФ государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [4].

Сегодня цифровизация практически становится синоним конкурентоспособности и открывает доступ к рынкам будущего.

Библиографический список

1. **Цифровизация** энергетики. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://in.minenergo.gov.ru> (дата обращения: 07.02.2021).
2. **Аспекты** цифровизации электроэнергетики и электротехнической экспертизы. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://esa-conference.ru> (дата обращения: 11.02.2021).
3. **Указ** президента Российской Федерации от 07.05.2018 №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 03.02.2021).
4. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 03.02.2021).

*А.О. Беспалова, маг.;
рук. М.А. Захаров, ст. преп.,
А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ ANSYS В ЦЕЛЯХ ДИАГНОСТИКИ ЕГО УЗЛОВ

Синхронный генератор представляет собой сложную электромеханическую систему, а возникновение таких повреждений как межвитковые замыкания в обмотке ротора и статора, эксцентриситет ротора может привести к внеплановому останову генератора и, как следствие, к большому экономическому ущербу. Для того, чтобы не допустить этого, стараются проводить диагностику генератора во время его работы. Для реализации данного принципа проводится математическое моделирование с целью поиска новых диагностических признаков повреждений.

В настоящей работе представлены результаты исследования математической модели синхронного генератора ТВФ-120. Исходные данные генератора взяты с одной из ТЭЦ г. Иваново. Генератор ТВФ-120 первоначально был разработан в программном комплексе RMxpert, с помощью которого получены рабочие параметры генератора в номинальном режиме работы и в режиме холостого хода. Каталожные данные генератора сравнивались с параметрами, полученными путем математического моделирования. Полученные параметры оказались близки к каталожным данным. Далее модель RMxpert была конвертирована в модель Maxwell 2D для моделирования внешнего магнитного поля генератора [1].

В дальнейшем путём моделирования неисправностей, таких как межвитковые замыкания в обмотке ротора и статора, эксцентриситет ротора, планируется осуществить поиск новых диагностических признаков данных повреждений генератора.

Библиографический список

1. **RMxpert**. Общая информация [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cae-expert.ru/product/rmexpert>

Ю.З. Васильева, асп., П.Н. Кононенко, маг.;
рук. А.Я. Пак, к.т.н.
(ТПУ, г. Томск)

ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ С МОЛИБДЕНОМ, УГЛЕРОДОМ И АЗОТОМ: БАЛАНС МАСС

На сегодняшний день актуален вопрос замены катализаторов на основе платины в процессах получения водорода методом электролиза на материалы более низкой стоимости со схожими свойствами, например, на материалы системы молибден-углерод-азот. Есть множество методов их получения, в данной работе материалы получены в электродуговой плазме постоянного тока при атмосферных условиях.

Одним из важных аспектов при получении материалов является составление баланса масс системы, необходимое для понимания взаимодействия элементов системы между собой и последующего контроля и управления процессом синтеза. В настоящей работе контроль баланса масс осуществлялся с помощью лабораторных весов путем взвешивания элементов системы до и после проведения эксперимента.

В проведенной серии экспериментов варьировали ток источника питания в пределах 80-200 А. Определено, что масса катода практически не меняется, масса синтезируемого продукта составляет ~ 75-80 % от исходной массы. В процессе горения дугового разряда в открытом воздухе часть массы анода переходит в синтезируемый продукт ввиду процесса электрической эрозии, другая часть расходуется на образование твердого тела – катодного депозита, а также на создание защитной газовой атмосферы, состоящей из оксида и диоксида углерода. На основании проведенных расчетов установлено, что при увеличении тока на источнике питания масса катодного депозита не меняется и составляет ~ 60 % от массы, которую потерял анод в ходе дугового воздействия.

Таким образом, исходя из рассчитанного баланса масс, был оценен объем газа, генерируемый в системе для защиты синтезируемого продукта от окисления кислородом воздуха. Объем газа оценен как ~ 0,36 л.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90088.

И.С. Виноградов, студ.;
рук. В.В. Батаева, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЕЭС РОССИИ И НАПРАВЛЕНИЕ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В связи с осуществляемыми в электроэнергетике реформами, запуском рынка электроэнергии и мощности многократно увеличилось число предприятий и организаций, участвующих в процессах выработки, транспортировки, распределения и потребления электроэнергии. При этом каждая компания выработала свою методологию построения информационных моделей и в настоящее время в энергообъединениях и на предприятиях отрасли используется большое количество программ и баз данных самых разнообразных форматов.

В данной работе рассматривается решение проблем объединения данных различных информационных моделей энергокомпаний – стандартизация программного обеспечения и объединение данных. Освещаются особенности единой информационной системы, и вытекающие из них последствия.

Разобрана главная информация об информационной модели СИМ и ее возможностях. Показано нынешнее положение ЕЭС России и ее будущее.

Единая информационная модель предоставляет возможность получать информацию о любом оборудовании, располагающемся на 13 тысячах объектов электроэнергетики Единой энергосистемы и ближнего зарубежья. Так же она дает возможность информационного обмена и интеграции с другими программными средствами. Ее работа упрощает работу сотрудников всей Единой Энергетической Системы.

Библиографический список

1. **Кудряшов, Ю.А.** Современные подходы к построению информационных моделей в электроэнергетике. Проблемы создания Единой системы классификации и кодирования информации / Кудряшов Ю.А, Литвинов П.Л., Маклюков Б.А, Полижаров А.В. [Журнал "Энергорынок"](#) Вып.2, 2009, – 48-56 с.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИКРОГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ И МИРЕ

Согласно Федеральному закону от 27.12.2019 N 471-ФЗ на розничном рынке электрической энергии появился новый субъект розничного рынка электроэнергии – микрогенерация.

Микрогенерация – это объект производства электрической энергии, принадлежащий потребителю (частному лицу или организации). Объект технологически присоединен к сетям напряжения ниже 1 кВ с максимальной мощностью 15 кВт. Источником генерации могут быть возобновляемые: солнечные батареи, микроГЭС, ветрогенераторы, приливные/волновые электростанции, а также традиционные источники – дизельные генераторы.

Собственники микрогенерации могут продавать излишки и не нужно вести отдельный учет выработки и потребления электрической энергии. При реализации электрической энергии физическими лицами, данная деятельность не облагается налогом,

В работе проанализирован потенциал микрогенерации в России и в мире. Отмечается, что в России, на фоне поддержки и роста индивидуального жилищного строительства, развитие микрогенерации имеет наибольшую перспективу на территориях Дальнего Востока и в силу особых условий и в Арктической зоне.

Библиографический список

1. **Микрогенерация** и объект микрогенерации. [Электронный ресурс]: URL: <https://energo.blog/blog/shemy-postavki/mikrogeneracija-novyj-subekt-rozничного-rynka-jelektrojenergii/> (дата обращения 4.02.2021).

*Т.Ф. Махмудов, PhD
(ТашГТУ, г. Ташкент)*

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ SMART GRID

Smart Grid можно рассматривать как концепцию, с помощью которой сеть энергосистемы становится умнее в результате интеграции в неё различных технологий. По мере развития Smart Grid появляются совершенно новые компоненты, включая аппаратное и программное обеспечение, а также новые стандарты, которые продолжают разрабатываться и адаптироваться. Поэтому сложно точно определить компоненты, из которых будет состоять будущая интеллектуальная сеть. Однако можно выделить следующие основные компоненты интеллектуальной сети [1]:

- объекты генерации, которые могут включать в себя комбинацию установок основной генерации, распределенной генерации и/или установок генерации на основе возобновляемых источников энергии;
- передающая сеть, включая передающие подстанции;
- распределительная сеть, включая распределительные подстанции;
- потребительские сети нагрузки;
- информационные и коммуникационные технологии с обеспечением безопасности для безопасной и надежной передачи данных. Функция коммуникационных технологий заключается в обеспечении связи между системами и устройствами;
- устройства управления, компьютерное управление и распределенные системы управления;
- интеллектуальные устройства сопряжения между Smart Grid и потребителями. Такие устройства сопряжения особенно важны, поскольку они представляют собой наиболее видимую часть Smart Grid для потребителей;
- сети на основе Интернет-протокола (IP): сети на основе IP можно рассматривать как базовый компонент Smart Grid;
- стандарты моделей и протоколов. Идентификация существующих стандартов и протокольных документов и/или разработка новых документов, поддерживающих функциональную совместимость Smart Grid, чрезвычайно важны в процессе развертывания Smart Grid;
- программное обеспечение и программы для поддержки принятия решений и человеческий интерфейс.

Библиографический список

1. **Salman K. Salman** Introduction to the Smart Grid: Concepts, Technologies and Evolution. The Institution of Engineering and Technology, UK, 2017. 272 p.

В.С. Павлова;
рук. Е.В. Крюков, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Нижний Новгород)

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТА

Актуальность работы определяется тем, что в настоящее время разработка концепции энергетического интернета является следующей ступенью развития электроэнергетики.

Обобщая информацию из рассмотренных источников литературы энергетический интернет – это интеллектуальная система управления энергопотреблением, которая позволяет удерживать стабильность и работоспособность всей формирующейся децентрализованной модели энергетики.

На сегодняшний день существуют работы, посвященные данному вопросу. Платформу усовершенствованной энергосистемы составляют интеллектуальные элементы, находящиеся на уровне цифровых технологий, которые предприятия электроэнергетики добавляют в традиционную и современную аналоговую инфраструктуру энергетической системы [1].

Проведена классификация технологических устройств и их уровень готовности к использованию.

Было выявлено, что устройства энергопотребления соединяются с энергетическими коммутаторами напрямую без соединения между собой. Энергетические коммутаторы же объединены в некую топологию, в которой также присутствует энергетический роутер. Аналогично энергетические роутеры объединены между собой и соединены с цифровой подстанцией, которая определяется индивидуально при каждой реализации [2].

Найденные и проанализированные факты позволяют выявить закономерность, что в тех странах, где проводится активная политика по внедрению энергетического интернета, отмечается снижение потерь электроэнергии при передаче и распределении энергии.

Библиографический список

1. **Куприяновский, В.П.** На пути к энергетическому Интернету: новые регуляции, бизнес модели, экономические и технические предпосылки / Куприяновский В.П., Конев А.В., Гринько О.В., Покусаев О.Н., Намиот Д.Е. // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Vol. 7. – № 3. – P. 60–70.
2. **Redkina A.I., Ponkin I.V., Markhgeym M.V., Novikova A.E., Tonkov E.E.** Industrial Internet of Things: concept and legal consciousness, meaning for Industry 4.0 // Revista inclusiones. – 2019, abril/junio. – Vol. 6. – Número especial. – P. 385–391.

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

МЕЖДУНАРОДНАЯ АРКТИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ «СНЕЖИНКА» – ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ И ПРИМИНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО

Развитие Арктической зоны РФ имеет стратегическое значение в обеспечении национальной безопасности государств. В этих условиях актуально создание площадок и точек присутствия на всем протяжении северного морского пути. Важность и необходимость решения отмеченных проблем отражены в доктрине энергетической безопасности [1].

На примере Международной Арктической станция «Снежинка» [2] рассмотрен один из вариантов создания круглогодичного и полностью автономного комплекса, создаваемого на базе возобновляемых источников энергии и водородной энергетики, без дизельного топлива.

Площадь комплекса составляет около 4500 кв.м. На нем могут размещаться не менее 80 человек долгосрочного проживания и коллектив и их работающий в режиме ротации.

"Снежинка" – это живой драйвер развития и применения технологий будущего научно-исследовательской международной инфраструктурой для ученых и инженеров новых технологий в следующих областях: тепло- и водоснабжение, утилизация стоков и мусора; телекоммуникации и системы «умный дом/поселение»; медицина и технологии «живых систем»; гибридный транспорт на базе водородных топливных элементов; роботизированные автономные устройства; новые материалы и строительные технологии; автономные платформы для наблюдения за окружающим миром и исследований изменения климата; аппаратно-программные комплексы предупреждения и ликвидации ЧС; экспертные системы поддержки принятия решений в экстремальных условиях на базе технологий искусственного интеллекта; агро- и гидропоника, технологические решения продовольственной безопасности в условиях Арктики.

Библиографический список

1. **Доктрина** энергетической безопасности, утверждена Указом Президента Российской Федерации 13 мая 2019, №216.
2. **Общая** информация [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://goarctic.ru/society/vodorodnaya-snezhinka-skoro-poyavitsya-v-arktike/>.

*А.В. Терновская, студ.;
рук. А.О. Егоров, к.т.н., доц.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

ВВОДЫ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ МОЩНОСТЕЙ ВЭС И СЭС В ЕЭС РОССИИ ЗА ПЕРИОД С 2010 ПО 2020 ГОДЫ

С 2014 года в ЕЭС России активно вводятся в эксплуатацию ВЭС и СЭС, построенные в рамках финансирования программы ДПМ ВИЭ для последующей поставки электроэнергии на ОРЭМ. Ввод в эксплуатацию ВЭС в ЕЭС России осуществляется с 2015 года, СЭС – с 2014 года. Всего за период с 2014 по 2020-й год в ЕЭС России введено в эксплуатацию 12 ВЭС установленной мощностью 1028 МВт и 69 СЭС мощностью 1727 МВт. По состоянию на 01.01.2021 самыми крупными объектами ВИЭ на территории России являются Перово СЭС мощностью 106 МВт (республика Крым, ОЭС Юга) и Адыгейская ВЭС установленной мощностью 150 МВт (республика Адыгея, ОЭС Юга).

Дополнительно, на период с 2021 по 2026 годы запланирован ввод в работу более 30 ВЭС и более 20 СЭС мощностью более чем 2 300 МВт. По прогнозу АО «СО ЕЭС», на 01.01.2026 установленная мощность электростанций ЕЭС России может составить 250 500 МВт, при этом суммарная мощность ВЭС и СЭС может достичь 3 950 МВт.

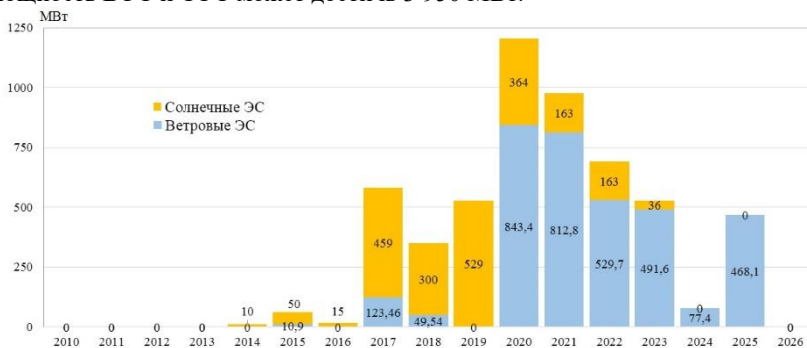


Рис. 1. Фактический и прогнозируемый вводы мощностей ВИЭ с 2010 по 2026 года

Таблица 1. Ввод станций ВЭС и СЭС в ЕЭС России по годам (количество, Единиц)

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ВЭС	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	9
СЭС	0	0	0	0	0	6	2	14	10	22	15

Библиографический список

1. Годовые отчеты АО «СО ЕЭС» о функционировании ЕЭС России.
2. Схемы и программы развития ЕЭС России Министерства энергетики Российской Федерации
3. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года.

А.В.Терновская, студ.;
рук. А.О.Егоров, к.т.н., доц.
(УрФУ, г. Екатеринбург)

ОЦЕНКА ПЛАНОВ ПО ВВОДУ В РАБОТУ ВЕТРОВЫХ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

С начала 2000 г. в энергосистемах стран мира активно строятся источники энергии на основе ВИЭ – солнечные и ветровые ЭС. В России активное строительство ВИЭ ведётся с 2015 г. в рамках государственной программы ДПМ ВИЭ. Анализ годовых отчетов АО «СО ЕЭС» о функционировании ЕЭС, анализ СИПР ЕЭС России показывает, что по состоянию на 01.01.2020 установленная мощность 880-ти электростанций ЕЭС России составляет 245 313 МВт. При этом в ЕЭС России функционируют 75 ВЭС мощностью 1028 МВт (0,42%) и 13 СЭС мощностью 1727 МВт (0,70%). Дополнительно, по состоянию на 01.02.2021 на территории России 15 СЭС находятся в стадии строительства с перспективным вводом в работу в период с 2021 по 2025 г. Также из эксплуатации выведены 4 ВЭС: Зеленоградская, Воркутинская, Калмыцкая, Балаклавская.

Строительство СЭС и ВЭС в ЕЭС России является перспективным, так на 2021-2026 годы запланирован ввод в работу до 2200 МВт ВИЭ, на их строительство выделено 438 578,5 млн Р. К 2026 г. доля ВЭС и СЭС в структуре установленных мощностей электростанций ЕЭС России может вырасти с 1,1% до 2,2%.

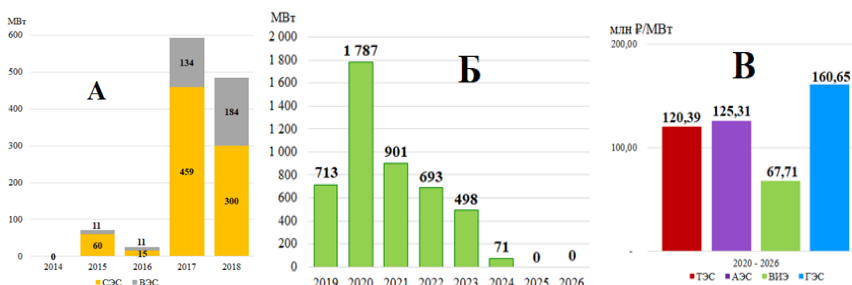


Рис. 1. А – введенные в эксплуатацию в ЕЭС России мощности СЭС и ВЭС; Б – прирост ВИЭ в России по годам; В – удельная стоимость строительства 1 МВт установленной мощности ЭС

Библиографический список

1. **Годовые** отчеты АО «СО ЕЭС» (ОАО «СО ЕЭС»).
2. **Схема** и программа развития электроэнергетики Свердловской области на период 2020-2026 годы.
3. **Отчеты** о функционировании Единой энергетической системы.

**Н.В. Шумский, асп.; И.И. Семенов;
рук. Е.Н. Соснина, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ

Интеллектуальный регулятор потоков мощности (ИРПМ) – новое полупроводниковое устройство, предназначенное для управления качеством и количеством электроэнергии в электрических сетях 6–20 кВ путем внесения добавочного напряжения в ЛЭП. В [1] был представлен алгоритм управления ИРПМ на основе искусственной нейронной сети (ИНС), обученной по принципу «с учителем». Алгоритм показал неплохие результаты по точности и быстродействию, однако при обучении потребовался значительный объем размеченных данных. Для больших систем при реализации алгоритма управления группой ИРПМ потребуется кратное увеличение обучающих данных, что делает нецелесообразным обучение ИНС «с учителем».

Для группового управления необходим алгоритм на основе ИНС, обученной по принципу «с подкреплением». Данный подход требует размеченные данные, а функции, задающие зону оптимальных и граничных величин. Такой функцией может быть зависимость пропускаемого ИРПМ тока, мощности, выходного напряжения устройства (рис. 1) и т.д. от добавочного напряжения. Граничные значения выступают в роли виртуальной среды, при исследовании которой ИНС обучается посредством получения «наград» за верное формирование вольтодобавки. Управление ИРПМ в этом случае происходит путем изменения граничных значений через внешнее воздействие других ИРПМ по дополнительному цифровому каналу, попадающему на входной слой ИНС.

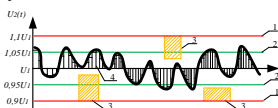


Рис. 1. График изменения напряжения на выходе ИРПМ: 1 – максимальные границы; 2 оптимальные границы; 3 – внешнее воздействие; 4 – вольтодобавка

Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 20-19-0054).

Библиографический список

1. Соснина Е.Н., Шумский Н.В., Шрамко П.А. Разработка системы управления интеллектуальным регулятором потоков мощности на основе нейронной сети // материалы VI Всерос. научно-техн. конф. «Актуальные проблемы электроэнергетики». – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2020. – С. 244–251.

СЕКЦИЯ 18

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

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

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

*Н.С. Барышников, Д.А. Ладин, маг., Страхов А.С., ст. препод.;
рук. Д.А. Полкошников, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ ГАРМОНИК ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ В РЕЖИМЕ ВЫБЕГА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Известно [1], что во внешнем магнитном поле при выбеге асинхронного электродвигателя (АД) присутствует гармоника основной частоты (ГОЧ), которая несет в себе информацию о скорости вращения вала ротора. Определение причины появления этой гармоники является целью этой работы.

Изначально было предположено, что наличие ГОЧ обусловлено остаточной намагниченностью сердечников статора и ротора АД. Для подтверждения данного предположения была собрана экспериментальная установка, состоящая из двух АД – АД1 и АД2 типа АИР71А6, валы которых соединены между собой. На АД2 регистрация сигналов внутреннего магнитного поля проводилась с помощью индуктивного датчика, внешнего – с помощью датчика Холла. Изначально предполагалось, что сердечники статора и ротора не имеют остаточной намагниченности и она появляется после подачи напряжения на обмотку статора.

Для подтверждения данной гипотезы было проведено два опыта. В ходе первого АД2 вращался с помощью АД1. Затем на АД2 было подано напряжение для намагничивания его сердечников. Далее, при отключении от сети АД2 проводился второй опыт, при котором АД1 опять вращал АД2. Результаты опытов показали, что ГОЧ присутствует в спектрах как в первом, так и во втором опыте, что может свидетельствовать о том, что остаточная намагниченность стали АД присутствует всегда, даже на долго не эксплуатируемой машине. Данный факт подтвердился результатами третьего эксперимента, при котором вращение вала двигателя АД2 осуществлялось вручную, не прибегая к его включению в сеть.

Результаты опытов показали, что появление ГОЧ во внешнем магнитном поле в режиме выбега обусловлено остаточной намагниченностью сердечников АД и период простоя машины не влияет на ее величину.

Библиографический список

1. **Лапшин, В.М.** Экспериментальное исследование внешнего магнитного поля асинхронного двигателя в режиме пуска и выбега для контроля состояния узлов агрегата / Лапшин В.М., Скоробогатов А.А., Полкошников Д.А., Швецов Н.К. // Состояние и перспективы развития электро и теплотехнологии, 2019 – С. 91-94.

С.А. Бобков, маг.;
рук. Е.М. Новоселов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Развитие распределенной генерации на сегодняшний день является мировым трендом. Под распределенной генерацией понимают совокупность технологий, которые позволяют генерировать электроэнергию рядом с местом ее потребления. Как правило, к ней относят генерирующие объекты мощностью менее 25 МВт.

Развитие систем распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на сегодняшний день является актуальной задачей. Актуальность определяется:

- увеличением надежности и устойчивости ЕЭС при использовании распределенной генерации с ВИЭ;
- увеличением доли ВИЭ в общей выработке электроэнергии;
- упрощением доставки электроэнергии до потребителя.

Целью данной работы является рассмотрение вопроса об использовании ВИЭ в сетях с распределенной генерацией и о формировании резерва мощности в подобных сетях.

Были рассмотрены известные виды резервирования мощности и возможные схемы подключения источников распределенной генерации к сети [1]. Также проанализированы примеры использования ВИЭ в распределенных сетях разных стран, а также примеры организации резерва в таких сетях [2].

Резюмируя, можно сделать вывод: на данный момент нет общего универсального метода интегрирования ВИЭ в распределенные сети. Это связано с особенностями эксплуатации ВИЭ, несвоевременной регламентацией технических требований и с особенностями внутреннего устройства сетей разных стран.

Библиографический список

1. **Илюшин, П.В.** Возможность обеспечения надежного электроснабжения потребителей от объектов распределенной генерации [Электронный ресурс]. – М., 2015. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/39222091-Vozmozhnost-obespecheniya-nadezhnogo-elektrosnabzheniya-potrebiteley-ot-obektov-raspredelelnoy-generacii.html>.
2. **50 Герц.** Корпоративный журнал АО «Системный оператор Единой энергетической системы» [Электронный ресурс] – № 2-3 (30-31) Октябрь, 2018. – Режим доступа: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/newspaper/2018_02-03_50hz.pdf.

*Д.Ю. Брезгин, студ.;
рук. И.Н. Сульнинков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ПРИМЕНЕНИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Большинство режимов в электроэнергетике, связанных с переходными процессами, описываются системой дифференциальных уравнений. Решение подобных задач без применения специализированного программного обеспечения затруднительно. Достаточно часто в таких случаях применяют упрощенные методики, имеющие ряд упрощений и допущений, которые могут привести к существенным погрешностям в результатах расчета. Для точного моделирования переходных процессов достаточно часто используется программа Matlab, однако продукт иностранный, поэтому труден в освоении без хорошего знания английского языка и требует существенных денежных средств и весьма мощного компьютера. Альтернативой Matlab'у является программа SimInTech, отличительными особенностями которой являются: программа является оптимизированной, занимает малый объем, продукт является отечественным, что позволяет связываться с разработчиками и задавать интересующие вопросы.

Программа SimInTech является средой создания математических моделей, предназначена для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления. Разработка математических моделей и алгоритмов управления в SimInTech происходит в виде структурного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений [1]. Такая система моделирования позволяет произвести расчет наиболее точно и получить результаты, приближенные к реальным.

В докладе показаны возможности использования программного SimInTech для решения одной из задач в электрической части электростанций – расчет самозапуска группы электродвигателей системы собственных нужд электростанции.

Библиографический список

1. **О нас | SimInTech.** [Электронный ресурс]:
URL:http://help.simintech.ru/#o_simintech/o_simintech.html (дата обращения 06.02.2021).

П.О. Величко, студ.;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛЕЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ

Выбор способа заземления нейтрали в сети 6 – 35 кВ является исключительно важным вопросом при проектировании, эксплуатации и реконструкции электрических распределительных сетей, так как он влияет на значительное число технических решений, которые реализуются в конкретной распределительной сети, и в целом на надежность ее работы и безопасность эксплуатации.

В настоящее время в России в сетях 6 – 35 кВ Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) разрешены к применению только три режима заземления нейтрали: изолированная нейтраль и нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор или резистор. Четкое определение и рекомендации, в каких случаях должен использоваться тот или иной режим заземления нейтрали, в ПУЭ отсутствуют.

В России сети 6 – 35 кВ работают в основном режиме изолированной нейтрали. Этот режим имеет большое количество недостатков, поэтому был исключен из применения в большинстве стран Европы еще в прошлом веке. Сети среднего напряжения этих стран работают с нейтралью, заземленной через резистор или дугогасящий реактор, что имеет целый ряд преимуществ перед режимом изолированной нейтрали.

При проектировании новых или же реконструкции старых электрических распределительных сетей стоит делать выбор в пользу заземления нейтрали через дугогасящий реактор или резистор, режим изолированной нейтрали нужно исключить. Так, например, переход от изолированной нейтрали к использованию резисторов не требует каких-либо существенных изменений и обладает достаточными преимуществами. Решение о высокоомном или низкоомном резистивном заземлении принимается на основании расчетов с учетом величины емкостных токов при однофазном замыкании на землю рассматриваемой сети.

Библиографический список

1. **Бурчевский В. А.** Обзор режимов заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ / Бурчевский В. А., Владимиров Л. В., Ощепков В. А., Суриков В. А // Омский научный вестник, № 1, 2009. – С. 122–126.
2. **Назарычев А. Н.,** Титенков С., Пугачев А. Комплексные инновационные решения по заземлению нейтрали в сетях 6-35 кВ / Назарычев А. Н., Титенков С., Пугачев А. // Сети России, № 3, 2016. – С. 82–88.

*Я.С. Гущина, Е.С. Романова, А.А. Соловьева;
рук. Н.Н. Смотров
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) актуален при проектировании электроустановок и выборе уставок релейных защит. Использование для этого программных комплексов позволяет оптимизировать процесс решения инженерных задач: помогает экономить время и трудозатраты проектировщиков, а также даёт возможность снизить вероятность ошибок при проектировании. Современные программные комплексы NEPLAN, ETAP, SINKAL позволяют автоматизировать и упростить принятие проектных решений. В последнее время возникла необходимость развития отечественного программного комплекса, учитывающего действующие стандарты РФ, [1].

Целью работы является верификация расчетной модели в программном комплексе GuPlanAC для расчета токов КЗ при выборе и проверке оборудования ГРУ-ТЭЦ. Верификация проводилась по оценке расхождения результатов действующего значения периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени, ударного тока КЗ и постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ полученных в результате расчета в программном комплексе и результатами расчета согласно действующему ГОСТ. Расчет токов КЗ производилось на примере теплоэлектроцентрали мощностью 2х110 МВт.

В сравнении с вычислениями, проведенными с применением программного комплекса GuPlanAC, результат которого составил $I_{p0} = 6,862 \text{ кА}$, погрешность расчёта по [1] составляет 6%.

Таким образом, расчетным путем была подтверждена эффективность применения отечественного ПО GuPlanAC для расчета КЗ при проектировании электроустановок переменного тока свыше 1 кВ.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.

*С.Н. Литвинов, ст. преп., А.А. Завязкина, маг.;
рук. И.Н. Сулыненков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

В большинстве случаев срок эксплуатации высоковольтного оборудования определяется ресурсом изоляции [1]. Практически все возникающие виды развивающихся повреждений изоляции неразрывно связаны с воздействием на нее частичных разрядов (ЧР) [2].

В мировой электроэнергетике наблюдается ярко выраженная тенденция перехода на полимерную изоляцию, и актуальной задачей в настоящее время является поиск способов прогнозирования ее износа в процессе эксплуатации. Наиболее перспективным видом диагностирования электротехнического оборудования под рабочим напряжением является регистрация и анализ ЧР, позволяющая выявлять и локализовать дефекты в процессе эксплуатации изоляции.

Для оценки степени влияния электрического поля на старение изоляции проведены исследования на математических и физических моделях. Для оценки распределения напряжённости электрического поля в диэлектрике создана конечно-элементная имитационная модель, учитывающая материал изоляции и дефекты в ней.

В результате исследований на имитационной модели получено значение напряженности электрического поля, при котором происходит пробой дефектных зон диэлектрика, и определен материал с наилучшими изоляционными характеристиками.

В результате исследований на физических моделях получено значение кажущегося заряда частичных разрядов в предпробойном состоянии диэлектрика. Полученные результаты позволяют в дальнейшем исследовать вопросы старения изоляции, для чего необходимо провести ресурсные испытания образцов изоляции.

Библиографический список

1. **Богомолов, В. С.** Повреждаемость основного электрооборудования ПС напряжением 110-750 кВ в РФ / Богомолов В. С., Зихерман М. Х., Львов Ю. Н., Назаров И. А., Тимашова Л. В., Шлейфман И. Л., Ясинская Н. В. // Энергия единой сети, №2 (7), 2003. – С.14-21.
2. **Вдовико, В.П.** Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / Вдовико В.П. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155с.

*В.А. Иванов, студ.;
рук. И.Н. Сульниенков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

В настоящее время в мире наблюдается тренд к использованию возобновляемых источников энергии взамен традиционным станциям, работающим на ископаемых видах топлива. Солнечная электроэнергетика является подходящей альтернативой из-за ряда своих особенностей, таких как всеобщая доступность, простота установки, использования и обслуживания.

Сегодня рынок солнечных батарей предлагает множество различных решений. Широко распространенными среди них являются моно- и поликристаллические кремниевые панели, арсенид-галиевые панели. Для каждого из типов панелей разработаны образцы, отличающиеся электрическими, массогабаритными характеристиками и коэффициентом полезного действия. Выбор того или иного варианта является многофакторным. В космических аппаратах используются в основном арсенид-галиевые солнечные батареи, в промышленных и бытовых установках преимущественно кремниевые полупроводниковые установки. Многообразии солнечных панелей, постоянно совершенствующиеся технологии производства солнечных батарей, их массовое производство приводит к улучшению технических характеристик и снижению стоимостных показателей. Задача выбора оптимального решения для того или иного заказчика представляет определенный научный интерес.

На кафедре электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования смонтирован стенд для изучения характеристик солнечных панелей. Недостатком существующего решения является отсутствие возможности многостороннего сравнения солнечных фотоэлементов различных типов. Поэтому был проработан вопрос, целью которого является модернизация существующего стенда путем дополнения солнечными панелями новых типов. В докладе представлены результаты анализа рынка производителей солнечных батарей и, как следствие, предварительно намечены дополнительные солнечные батареи для экспериментального стенда. На следующем этапе планируется выполнить комплекс работ по внедрению новых типов солнечных панелей в существующий лабораторный стенд. Направлением дальнейших исследований является проведение многофакторных экспериментов на новых образцах солнечных элементов.

А.Г. Каюмов, асп.;
рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., проф.
(НИУ "МЭИ", г. Москва)

ВЛИЯНИЕ НЕСИНФАЗНОСТИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ТОКИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

На сегодняшний день расчеты токов коротких замыканий (КЗ) проводятся в соответствии с методами регламентирующих документов, содержащих ряд предположений. Предполагается, что все синхронные генераторы (СГ) работают синфазно в режиме, предшествующем КЗ, и в режиме КЗ. В реальных условиях эксплуатации СГ работают относительно друг друга несинфазно, со своими углами мощности, что является одной из причин расхождения между расчетными и реальными токами КЗ. Однако в последние годы обостряются проблемы обеспечения соответствия, установленного в электроэнергетических системах электрооборудования, непрерывно возрастающему уровню токов КЗ, особенно по отключающей способности высоковольтных выключателей (ВВ). Из-за роста токов КЗ с каждым годом к электрооборудованию ЭЭС предъявляются все более жесткие требования, особенно к ВВ, снижаются запасы отключающей способности при выборах ВВ, что обуславливает повышение требований и к точности расчета токов КЗ. Для оценки влияния несинфазности СГ на токи КЗ в начальный момент времени была разработана расчетная математическая модель и варьировалась активная мощность СГ, длины линии электропередачи, сверхпереходных индуктивных сопротивлений в режиме, предшествующем КЗ. Для большой области варьируемых параметров расчетов при неучете влияния несинфазности СГ погрешность превышает 5% и может достигать 14%.

При исследовании влияния несинфазности СГ на токи КЗ в произвольный момент времени варьировались следующие параметры: постоянная времени механической инерции ротора и турбины (вращающихся частей агрегата); сверхпереходной постоянной времени СГ по продольной оси; постоянной времени затухания апериодической составляющей тока статора при трехфазных КЗ. Полученные результаты исследования при разбросе погрешности вклада тока СГ в суммарный ток КЗ может достигать $15 \div 21\%$ относительно начального значения тока СГ. Полученные результаты исследования рекомендуются использовать при выборе и замене электрооборудования, а также при решении вопроса о целесообразности внесения изменений в регламентируемую стандартами методику расчета токов КЗ.

*А.Е. Южанин, студ., С.А. Косарев, асп.;
рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ТЕРМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ФЕРРОРЕЗОНАНСОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Феррорезонансные колебательные процессы возможны в электроустановках с нелинейными индуктивностями, например, с электромагнитными трансформаторами напряжения (ТН), [1]. Частой причиной возникновения феррорезонанса в сетях среднего напряжения, 6 – 35 кВ, с изолированной, компенсированной или резистивно-заземленной нейтралью являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Основная опасность феррорезонанса связана с термическим действием токов намагничивания на ТН. В данной работе дана оценка термического действия бросков токов намагничивания в ТН, вызванных отключением ОЗЗ. Определена зависимость интеграла Джоуля бросков тока намагничивания от ёмкости распределительной сети на землю. Изменение ёмкости сети варьировалось в пределах, соответствующих ёмкостным токам в диапазоне от 10 до 1500 А.

Исследование проводилось с использованием программного обеспечения ЕМТР-RV компании Powersys (Франция, Канада). Была разработана и, на основе данных паспорта ТН НТМИ-6, верифицирована расчётная модель участка распределительной сети 6 кВ. Расчётные данные, полученные на модели, сопоставлялись с данными из паспорта ТН, током холостого хода и током короткого замыкания. Была установлена зависимость интеграла Джоуля от ёмкостного тока - при увеличении ёмкостного тока с 10 до 50 А интеграл Джоуля увеличивался в 2,74 раза, при увеличении с 10 до 300 А – в 15,36 раз, а при увеличении ёмкостного тока с 10 до 1500 А – в 111,65 раз. Полученные результаты подтверждают опасность повреждения ТН из-за термического действия бросков тока намагничивания ТН, феррорезонансные явления в распределительных сетях должны приниматься во внимание в качестве одного из факторов, обуславливающих ограничение ёмкостных токов, в том числе и путем запрета на подключение новых фидеров к шинам центров питания.

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.

Е.М. Кубрак, маг.;
рук. И.Н. Сулыненко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

О ПРИМЕНИМОСТИ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 220 КВ

Основной задачей при проектировании подстанций [1] является выбор схемных, конструктивных и компоновочных решений схем распределительных устройств (РУ). При выборе схем РУ на подстанции (ПС) важную роль играют два фактора – надежность и экономичность. Как на экономические показатели, так и на уровень надежности схемы РУ воздействует множество факторов, среди которых имеют место количество и тип установленных выключателей. В данной работе произведено исследование схем РУ, для определения влияния на их выбор надежности и экономических показателей.

Объектом исследования является двухтрансформаторная ПС 220 кВ, соединенная тремя энергосистемами воздушными линиями. Для РУ с количеством присоединений, равному 8, выбраны 4 варианта схем со сборными шинами. При помощи таблично-логического метода в зависимости от типа устанавливаемых выключателей произведен расчет среднегодового ущерба от недоотпуска электроэнергии из-за отказа элементов РУ. С учетом надежности произведена оценка дисконтированных затрат каждой схемы в зависимости от типа выключателей.

В ходе анализа выяснилось, большую роль играет количество ячеек выключателя, устанавливаемого на РУ, ввиду большой их стоимости [2]. Разница вложений и затрат сравниваемых схем в большинстве случаев не превышает стоимости одного выключателя, но при этом схемы считаются разнно экономичными. При сравнении представленных схем более экономичной является схема с наименьшим количеством установленных выключателей, не смотря на то, что имеет наибольший ущерб.

Библиографический список

1. **СТО 56947007-29.240.30.010-2008.** Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанции 35-750 кВ. Типовые решения.
2. **СТО 56947007-29.240.124-2012.** Сб.: Укрупнённые стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35-1150 кВ для электросетевых объектов ОАО «ФСК ЕЭС».

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

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ 6 кВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Правилами устройства электроустановок [1] работа электрических сетей напряжением 2-35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. Исчерпывающей информации о применении того или иного режима работы нейтрали нормативный документ не содержит.

Наиболее распространенный вид повреждений в таких сетях – однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) с перемежающейся дугой, составляющие более 70% всех повреждений. Возникающие при этом дуговые перенапряжения кратностью до (3-4) U_{ϕ} опасны для электрооборудования, в первую очередь для высоковольтных электродвигателей, генераторов, кабелей и трансформаторов напряжения [2].

В системах электроснабжения 6 кВ собственных нужд российских электростанций преимущественно используется изолированная или компенсированная нейтраль. Эти режимы создают известные трудности для создания селективной релейной защиты (РЗ), отключающей поврежденные присоединения. Даже компенсация емкостных токов, снижающая вероятность возникновения перемежающейся дуги, а значит и величину дуговых перенапряжений, не устраняет проблем с построением селективных РЗ.

Длительная работа сети собственных нужд при ОЗЗ представляется малоцелесообразной, поскольку в таких сетях имеется эффективно организованное резервирование.

В последние годы в России на целом ряде электростанций стало успешно использоваться заземление нейтрали через низкоомный резистор. Статистика использования данного способа заземления нейтрали [3] подтверждает резкое снижение повреждений статорных обмоток и сердечников статоров двигателей при ОЗЗ и успешное построение селективных релейных защит.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок. – М.: ЭНАС, 2006.
2. **Руководство** по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Под науч. ред. Н.Н. Тиходеева. Минтопэнерго РФ, 1999.
3. **Резистивное** заземление нейтрали в сети собственных нужд Энгельской ТЭЦ Саратовэнерго. – М.: Электрические станции, №2, 2003.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Оценка технического состояния агрегатов собственных нужд является важным звеном, влияющим на показатели работы электрической станции в целом.

Анализ технического состояния с использованием рабочих характеристик даёт положительный результат, но наиболее точное построение таких характеристик при использовании различных методов разделения потерь требует сложных процедур с двигателем (вывод агрегата из эксплуатации, измерения в режимах холостого хода, частичных нагрузок и т.п.).

Метод определения механической мощности на валу двигателя при эксплуатационной нагрузке, разработанный Н.И. Коноваловым (ИЭИ), является наиболее пригодным вариантом экспресс-анализа технического состояния агрегатов. Данный метод не требует специальной мощной испытательной установки; испытания проводятся на штатном оборудовании. Требуется несколько стандартных измерений при разных эксплуатационных нагрузках, после чего строятся рабочие характеристики. Для подтверждения эффективности данного метода проведены эксперименты на лабораторном стенде.

Рабочие характеристики, построенные, таким образом, уступают в точности измерениям, основанным на разделении потерь, но вполне реализуемы в эксплуатации и пригодны для периодического сравнения и определения момента ухудшения характеристик.

Ухудшение рабочих характеристик (например, снижение КПД) будет показателем ухудшения технического состояния агрегата собственных нужд в целом.

Библиографический список

- 1. Баженов, И.А., Марьянова, С.И.** Основы режимов работы агрегатов собственных нужд электрических станций: учеб. пособ. / Баженов, И.А., Марьянова, С.И. – Иваново, 2015. – 236 с.
- 2. Калачева, О.Н., Лапшин, В.М.** Проектирование системы собственных нужд с учетом требований эксплуатации. МУ к самостоятельной работе. – Иваново, 2010. – 64с.

М.О. Кулев, маг.;
рук. Е.М.Новоселов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

В энергетике широко используются разнообразные кабели с резиновой, бумажно-пропитанной (БПИ), поливинилхлоридной и с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) [1]. При этом кабели с изоляцией из СПЭ в нашей стране стали широко применяться относительно недавно, но довольно быстро увеличивают свою долю.

В данной работе изучены основные особенности СПЭ-кабелей, а также произведено сравнение их с БПИ кабелями, как наиболее распространенными.

Основными преимуществами СПЭ-кабелей являются [1-3]:

1. большая пропускная способность кабеля, достигнутая за счёт увеличения допустимой температуры жилы:
 - длительная нагрузка — 90 вместо 70°C;
 - при перегрузке — 130 вместо 90°C;
2. отсутствие ограничения на перепад высот по трассе кабельной линии;
3. высокая устойчивость к влаге, при этом отпадает необходимость в металлической оболочке;
4. меньше допустимый радиус изгиба кабеля, простота монтажа (особенно однофазных кабелей) и эксплуатации;
5. высокая морозостойкость;
6. экологическая безопасность из-за отсутствия масла.

К недостаткам СПЭ-кабелей относятся:

1. высокая стоимость;
2. сложная и дорогая технология проведения испытаний;
3. сложности с применением в сетях с изолированной нейтралью;
4. проблемы с токами в экранах однофазных кабелей.

Библиографический список

1. **Технические** характеристики и маркировки кабелей из сшитого полиэтилена [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://amperof.ru/elektromontazh/electroprivodka/kabel-spe.html>.
2. **Кабели** среднего напряжения: сшитый полиэтилен или бумага? [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.ruscable.ru/article/Kabeli_srednego_napryazheniya_sshityj_polietilen_ili_bumaga
3. **Кабели** из сшитого полиэтилена – преимущества, расшифровка [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pomegerim.ru/piree/kably-iz-sshitogo-polietilena.php>

Д.А. Ладин, Н.С. Барышников, маг.;
А.С. Страхов, ст. препод.;
рук. Д.А. Полкошников, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТОКОВ В ОБМОТКЕ РОТОРА ПРИ ВЫБЕГЕ ДВИГАТЕЛЯС ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Из литературных источников [1] известно, что в режиме выбега асинхронного двигателя (АД) можно диагностировать состояние его узлов по внешнему магнитному полю. Однако возникает вопрос, что же порождает электромагнитное поле двигателя в режиме выбега? Можно предположить, что одним из его источников могут являться токи, протекающие по обмотке ротора, которые продолжают существовать некоторое время после отключения АД (в отличие от токов статора).

Целью данной работы является анализ длительности существования токов в обмотке ротора при выбегемашины.

В ходе работы в программном комплексе AnsysMaxwell [2] смоделированы низковольтный (АИР71А6) и высоковольтные (ДА30, 4А3М) электродвигатели. Проведено исследование поведения токов в обмотке ротора после отключения двигателя и построены графики токов в каждом ее стержне.

Исследование графиков показало, что токи в обмотке ротора существуют некоторое время после отключения АД от сети. При этом затухание токов в высоковольтных двигателях происходит на порядок дольше, чемв низковольтных и его длительность достаточна для проведения диагностики состояния узлов высоковольтных двигателей.

Библиографический список

1. **Лапшин, В.М.** Экспериментальное исследование внешнего магнитного поля асинхронного двигателя в режиме пуска и выбега для контроля состояния узлов агрегата / Лапшин В.М., Скоробогатов А.А, Полкошников Д.А, Швецов Н.К. // Состояние и перспективы развития электро и теплотехнологии, 2019 – С. 91-94.
2. **AnsysMaxwell.** Общая информация [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cae-expert.ru/product/ansys-maxwell>.

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

ОБ УЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТОКОВ ПОДПИТКИ МЕСТА КЗ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

В соответствии с действующими нормативными документами [1] при расчете токов короткого замыкания с целью определения термической стойкости кабельной линии расчетная точка КЗ выбирается в начале линии.

При КЗ в цепях собственных нужды необходимости учета токов подпитки от двигателей расчетные точки КЗ по отношению к двигателям будут находиться в конце кабельной линии, а значит параметры кабеля в той или иной мере будут влиять на уровень тока подпитки.

В работе проведены тщательные расчеты для группы двигателей секции 6 кВ блока 300 МВт для выявления реального влияния параметров кабеля (активного и индуктивного сопротивления, эффекта «теплового спада» тока КЗ).

Расчет токов КЗ проводился с использованием распространенных в проектной практике методик [2], длины питающих кабелей приняты равными длинам действующего блока 300 МВт.

Результаты расчетов показали незначительное влияние параметров кабелей на уровень начальных периодических токов подпитки от двигателей:

– начальное значение периодического тока от группы двигателей уменьшилось на 1,1% при учете активного и индуктивного сопротивления питающих кабелей (без учета эффекта «теплового спада»);

– учет эффекта «теплового спада» выявил дополнительное снижение периодических токов от двигателей на (0,1 – 0,17)%.

Столь незначительный эффект от учета параметров питающих кабелей вполне объясним следующими данными расчетов: индуктивное сверхпереходное сопротивление двигателей (источников тока КЗ) составляет, примерно, 99% от полного сопротивления расчетной цепи двигатель-кабель (с учетом активных и индуктивных сопротивлений).

Библиографический список

1. **Руководящие** указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0-20.527-98. – М: МЭИ, 1998.

2. **Лапшин, В.М.** Термическая стойкость кабельных линий в системе собственных нужд электростанций: учеб. пособ. / Лапшин В.М. – Иваново: ИГЭУ, 2015.

М.А. Резенькова., маг.;
рук. В.Н. Башин, к.т.н., с.н.с., А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ТЭЦ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ НАГРУЗКИ ТЭЦ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ OrCAD

При расчете токов короткого замыкания и анализе переходных электромеханических процессов, как правило, не учитывается динамика нагрузки, подключенной к ТЭЦ. То есть, в математических моделях и моделях-симуляторах электродвигатель отображается в виде цепи из активного сопротивления и индуктивности. В данной работе поставлена задача – устранить этот пробел.

Для ее решения была создана модель-симулятор ТЭЦ мощность 195 МВт с подключенной к первой секции генераторного распределительного устройства динамической нагрузки в виде обобщенного асинхронного двигателя с центробежной машиной.

Исходным материалом для модели асинхронного двигателя явились уравнения Парка - Горева для машины переменного тока [1] со всеми общепринятыми допущениями. Исследования проводились на платформе SPICE (OrCAD) [2]. В результате получены графики кривых переходных процессов токов и напряжений во всех узлах и всех элементах схемы.

Установлено, что во время короткого замыкания, близкого к нагрузке, магнитное поле асинхронной машины достаточно быстро падает до нуля (0,1 – 0,2 с), поэтому учитывать динамику при расчете установившихся токов короткого замыкания нет необходимости. Такая нагрузка оказывает существенное влияние только на первоначальный бросок тока (для данного случая увеличение ~10%).

Анализ результатов проделанной работы показал, что динамическая нагрузка влияет только на величину ударного тока короткого замыкания.

Библиографический список

1. **Важнов, А.И.** Переходные процессы в машинах переменного тока. – Л.: Энергия, 1980. – 320 с.
2. **Разевиг, В.Д.** Система проектирования OrCad 9.2 – М.: Солон-Р, 2001. – 519 с.

И.В. Сохань, студ.;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Современный мир можно охарактеризовать как оцифровку всего, что поддается данной процедуре. Данное явление само по себе нацелено на упрощение контроля и распределение электрической энергии, однако использование современных технологий неизбежно приводит к повышению рисков кибербезопасности энергетических систем.

В основном опасность представляют хакеры, количество которых увеличилось в несколько раз за последние несколько лет. Так, по данным компании по разработке программного обеспечения в области информационной безопасности NortonLifeLock Inc. в 2018 году в США замечено 140 хакерских группировок, направленных на компании ТЭК, что в 2 раза больше, чем в 2015 году [1].

Что касается нашей страны, то у нас нет настолько подробной статистики, однако, это не означает, что угроза отсутствует. Если обратить внимание на один из крупнейших энергетических операторов в России, мы узнаем, что он управляет 2,34 млн километров ЛЭП, а также свыше 500 тысяч подстанций. Концепция цифровой энергетики подразумевает, что на каждой подстанции есть свое цифровое оборудование, которое может подвергаться атакам. Помимо этого, в России принято, что сотрудник может использовать свои личные устройства в работе, что также повышает риск кибератак.

В различных средствах массовой информации много материалов о биткойне и блокчейне. Блокчейн – это уникальная технология, которая представляет собой выстроенную по определённым правилам непрерывную последовательную цепочку блоков, содержащих информацию. Одной из главных особенностей блокчейна является хранение информации и ее защита от изменения [2].

Эту технологию уже используют в целях хранения информации крупные компании, соответственно внедрение данной технологии в энергетическую отрасль лишь вопрос времени.

Библиографический список

1. **Коновалов, Роман.** Кибербезопасность в энергетике: как победить невидимого врага. Вебсайт https://iot.ru/energetika/kiberbezopasnost-v-energetike-kak-pobedit-nevidimogo-vraga?sphrase_id=96003, 04.09.2018.
2. **Morgen E. Peck.** Blockchains: How They Work and Why They'll Change the World. Вебсайт <https://spectrum.ieee.org/computing/networks/blockchains-how-they-work-and-why-theyll-change-the-world>, 28 Sep 2017.

И.С.Филоненко, маг.;
рук. Е.М. Новоселов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Одним из наиболее значимых факторов, определяющих надежность работы электрических станций и электроэнергетических систем, является надежность силовых трансформаторов и автотрансформаторов. На сегодняшний день значительная доля основного электроэнергетического оборудования отработала свой нормативный срок службы, в том числе и силовые трансформаторы. Например, согласно [1] более 40 % силовых трансформаторов имеют наработку более 25 лет.

В данной работе были проанализированы статистические данные по повреждаемости силовых трансформаторов. Согласно [2], за 1997–2007 гг. произошло почти 6,5 тыс. случаев повреждений основного электрооборудования подстанций. При этом за исследуемый период произошло 835 (12,9%) случаев повреждений силовых трансформаторов, в том числе 572 повреждения (68,6%) трансформаторов 110 кВ. Согласно результатам исследований [1,2] наиболее повреждаемыми узлами силовых трансформаторов являются: магнитопровод, обмотки, отводы (внутренние повреждения) – 29%; высоковольтные вводы – 21%, устройства РПН–23%, уплотнения (течи трансформаторного масла) – 11,5%, система охлаждения–6%, газовая защита–8%, встроенные трансформаторы тока – 0,5%, прочее –1%.

Проведенный анализ показывает, что количество устаревшего, изношенного оборудования увеличивается. В виду отсутствия достаточных финансовых ресурсов для проведения модернизации, основной путь повышения эксплуатационной надежности силовых трансформаторов – это более широкое внедрение развитых средств технической диагностики для выявления неисправностей на ранней стадии развития.

Библиографический список

1. **О повреждениях** силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации / Б.В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов и др. // Электрические станции, № 9, 2001. – С. 53–58.
2. **Повреждаемость** основного электрооборудования ПС напряжением 110-750 кВ в РФ / В.С. Богомолов и др. // Энергия единой сети, №. 2, 2013. – С. 14–21.

*И.Э. Чеканова, маг.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф., В.В. Батаева, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С АСММ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РЕГИОНАХ РФ

В настоящее время растет интерес к малой атомной энергетике, как к перспективному энергоисточнику для развития и освоения труднодоступных и удаленных регионов. Суммарная мощность энергопотребителей малой мощности в стране, включая труднодоступные регионы РФ, составляет не менее 30% от общего баланса, а их число исчисляется сотнями и тысячами, превосходя по количеству в десятки и сотни раз число энергопотребителей большой и средней энергетики. К трудно доступным регионам РФ относятся регионы Арктики, Сибири и Дальнего Востока. В принципе они пригодны для использования источников генерации на основе ВИЭ. Однако возникают проблемы их применения, например для солнечных панелей – это обледенение и необходимость постоянного сметания снега, а для ветроустановок – это штормовые ветра со скоростью до 36 м/с, покрытие инеем, обледенение [1].

Для рассматриваемых территорий примерно 96 % генерации приходится на дизельные электростанции (ДЭС). Сегодня многие ДЭС выработали свой моторесурс, имеют высокий расход топлива и низкую надежность.

Альтернативным источником энергии и особенно важно тепловой энергии могут быть атомные станции малой мощности (АСММ). Работа АСММ не зависит от поставок топлива и природно-климатических условий. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения с АСММ имеют особенности. Анализ этих особенностей и посвящен предлагаемый доклад.

Библиографический список

1. **Савельев, В.А.** Атомные станции малой мощности – важнейший фактор социального развития, освоения труднодоступных и удаленных территорий страны и обеспечения ее энергетической безопасности // Савельев В.А., Сараев Ю.П., Батаева В.В. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Международный научный семинар им. Ю. Н. Руденко, спец. выпуск журнала «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». – Ташкент, 2019. – С.53 – 59

*И.М. Шайхутдинов, А.О. Маясова, маг. (НХТИ, Нижнекамск);
рук. И.Н. Мадышев, к.т.н.
(КНИТУ, Казань)*

РАЗРАБОТКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

С целью повышения эффективности охлаждения силовых трансформаторов авторами разработана дополнительная система охлаждения, способная обеспечить снижение пиковой нагрузки трансформаторов ее равномерное распределение в течение всей продолжительности работы. Это достигается за счет использования дополнительной емкости, оборудованной каскадом полупроводниковых термоэлектрических модулей. В общем случае термоэлектрические преобразователи могут работать в различных режимах, наиболее важными из которых являются: режим максимального холодильного коэффициента и режим максимальной холодопроизводительности. В первом случае термоэлемент будет наиболее эффективно преобразовывать потребляемую электрическую энергию в «холод», во втором – в ущерб экономичности может быть получено наибольшее понижение температуры [1].

В нижнюю часть бака трансформатора устанавливается змеевик, предназначенный для дополнительного охлаждения трансформатора водой, находящейся внутри емкости. К наружной поверхности одной из стенок емкости прикреплены термоэлектрические модули, холодная сторона которых использована для теплопередачи охлаждаемой воде. При этом с целью формирования наибольшей толщины слоя льда на внутренней поверхности емкости выполнено оребрение. Предварительное охлаждение циркулирующей воды происходит в вертикальных грунтовых теплообменниках, выполненных в виде U-образных труб, вмонтированных в пробуренные скважины глубиной до 100 м [2].

Разработанная система охлаждения трансформаторов позволит в моменты пиковых тепловых нагрузок дополнительно отводить до 50% тепла. При этом ожидаемое повышение мощности трансформатора в зависимости от его рабочих характеристик составит от 25 до 40%.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-2710.2021.4.

Библиографический список

1. Булат, Л.П. Термоэлектрическое охлаждение: состояние и перспективы // Холодильная техника, № 8, 2004. – С. 2-7.
2. Dmitriev A.V., Dmitrieva O.S., Madyshev I.N. Prospects for the Use of Additional Cooling System for the Oil-Immersed Transformers with Thermoelectric Transducers // MATEC Web of Conferences. 2017. V. 95. –P. 15008.

С. Шуаиб, студ.;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц., Е.М. Новоселов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА РЕСПУБЛИКИ ТУНИС

Производство и распределение электрической энергии и газа в республике Тунис осуществляется под руководством государственной корпорации STEG. Это публично-правовая компания неадминистративного характера, созданная в 1962 году. До этого периода электроэнергетика Туниса была разделена между восемью различными компаниями. Неэффективность работы этих компаний и вынудила руководство Туниса фактически создать государственную монополию в лице STEG.

Создание государственной корпорации позволило кардинально изменить ситуацию с электрификацией в стране. Общий уровень электрификации (с учетом городского и сельского секторов) составляет 99,5%.

Корпорация STEG располагает диверсифицированным парком генерирующих источников: ТЭС, ГТУ, ГЭС (ГАЭС), ВИЭ (в основном, использующие энергию ветра).

Так называемая «чистая» выработка электроэнергии (суммарное производство за вычетом расхода на собственные нужды) к началу 2019 года составила 19,52 млрд. кВт·ч, в том числе:

ТЭС (включая паротурбинные и газотурбинные установки) – 18,78 млрд. кВт·ч, ГЭС (ГАЭС) – 0,07 млрд. кВт·ч, ВИЭ – 0,67 млрд. кВт·ч.

Корпорация STEG управляет примерно 7000 км линий электропередачи, используя напряжения 400, 225, 150 и 90 кВ, а также более 150000 км линий среднего напряжения (от 1 до 30 кВ) и низкого напряжения (до 1 кВ).

Электрическая сеть Туниса связана с сетями соседних стран (Алжир, Марокко, Ливия), образуя Средиземноморское кольцо.

Наиболее важными проблемами, с которыми сталкивается электроэнергетика Туниса, являются следующие:

- износ основного энергетического оборудования (средний срок эксплуатации составляет 30 лет);
- неспособность обновлять и развивать инфраструктуру энергосистемы из-за нехватки средств.

Библиографический список

1. http://www.tunisieindustrie.gov.tn/upload/ENR/Guide_resume_ENR_tunisie_mai2019.pdf
2. https://web.archive.org/web/20171010191448/https://energypedia.info/wiki/Tunisia_Energy_Situation

М.А. Щипков, маг.;
рук. Е.М. Новоселов, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

РОЛЬ И МЕСТО НАКОПИТЕЛЕЙ В СОЗДАНИИ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ВИЭ

Наличие территорий потребителей, находящихся в районах, изолированных от существующих энергосетей, или же снабжаемых электроэнергией, по разным причинам, с перебоями, требуют организации автономного энергообеспечения [1]. В связи с этим, открывается возможность использования возобновляемых источников энергии, с помощью гибридных систем. Гибридная система – энергетическая система с несколькими источниками электрической энергии (генераторами), использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии. В связи с этим, тема является актуальной и постоянно обсуждается в России и мире.

Поскольку гибридные электростанции с ВИЭ не могут обеспечивать потребителя «стабильной» электроэнергией, то требуется использование накопителей электроэнергии.

В работе рассматривается роль и место накопителей в структуре гибридных электростанций с альтернативными источниками. Анализируются и отмечаются наиболее подходящие виды накопителей энергии для использования на гибридных электростанциях с ВИЭ [2]. Изучены основные составляющие гибридных электростанций с различными возобновляемыми источниками энергии [3]. Приведены технические и экономические характеристики различных типов накопителей энергии, которые являются одним из основных элементов гибридных станций и выполняют ряд функций для обеспечения надежной и бесперебойной работы.

К ним относятся: гидроаккумулирующие электростанции; электрохимические аккумуляторы; накопители на основе сжатого воздуха; роторные накопители; сверхпроводниковые магнитные накопители.

Библиографический список

1. **Концепция** развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации [Электронный ресурс], 2017. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/9013/74739>
2. **Куликов, Ю.А.**, Накопители электроэнергии [Электронный ресурс], 2018. – Режим доступа: https://fondsmena.ru/media/EGM_publicationfiles_Article/Куликов_ЮА.pdf
3. **Кундас, С.П.**, Возобновляемые источники энергии / С.П. Кундас, С.С. Позняк, Л.В. Шенец. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 315 с.

СЕКЦИЯ 19

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

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

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

*А.С. Воробьев, С.В. Степанычев, маг.;
рук. А.В. Вихарев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ НА ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ) на базе кафедры «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика» (ВЭТФ) создается научно-исследовательская электротехническая лаборатория «Полигон для диагностики изоляции высоковольтных силовых кабелей», где на образцах высоковольтных кабелей и на моделях поврежденных участков кабелей изучаются методы диагностики кабелей. Одним из эффективных неразрушающих методов контроля состояния изоляции является определение восстанавливающегося на изоляции напряжения. Для реализации этого метода на кафедре ВЭТФ собран лабораторный стенд. При этом регистрация напряжения на изоляции кабеля осуществляется электростатическим киловольтметром С-96. Для автоматизации процесса измерения предложено модернизировать стенд включением в схему измерения электронного осциллографа Hantek DSO 1202B и высоковольтного делителя напряжения ДНВ-100.

Особенностью учебных высоковольтных лабораторий является использование в качестве объекта испытаний образцов изоляции, а не полномасштабных электроэнергетических устройств. При изучении кабельной изоляции испытания проводятся на коротких образцах высоковольтных кабелей. Таким образом, сопротивление образцов кабелей соизмеримо с сопротивлением делителя ДНВ-100, т.е. делитель шунтирует изоляцию, что влияет на результат измерения. Составив двухслойную модель изоляции, шунтируемой делителем, был произведен математический расчет восстанавливающегося напряжения на изоляции и построены зависимости от времени для кабелей длиной от 1 до 1000 метров.

Анализ полученных результатов показал, что погрешность измерения амплитудного значения восстанавливающегося напряжения при использовании делителя ДНВ-100 для кабелей длиной до 100 метров достигает 68%. При увеличении длины кабеля до значений более 500 метров погрешность измерения составляет менее 5%.

Таким образом, при контроле восстанавливающегося напряжения в условиях эксплуатации с использованием делителя напряжения следует разработать систему поправочных коэффициентов, учитывающих сопротивление применяемого делителя и длину кабельной линии.

Б.О. Ковалев, маг.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В ходе эксплуатации силовых трансформаторов особое внимание стоит уделять ключевым факторам, ведущим к их старению, в частности к деградации бумажной изоляции, масла, а также деформации и смещению обмоток. Своевременный контроль этих факторов позволит максимально продлить срок службы трансформаторов.

Современный подход в обслуживании силовых трансформаторов главным образом опирается на переход к предупреждающей профилактике, заключающейся в непрерывном контроле. Непрерывный контроль обеспечивает выявление дефектов оборудования на ранней стадии их развития, до того, как они перейдут в серьезное повреждение.

Различают два подхода в контроле состояния силовых трансформаторов: контроль состояния с использованием методов непрерывного выявления дефектов во время работы в системе электроснабжения (контроль газов в масле, измерение влаги в масле, тепловой контроль) и диагностика отключенного силового трансформатора (хроматографический анализ масла, измерение различных электрических характеристик и величин: сопротивление обмоток, тангенс угла потерь, частичные разряды и т.д.).

Приоритетным является диагностика состояния работающего оборудования. Контроль может быть непрерывным или периодическим. Это зависит от скорости развития дефектов. Только полное обследование трансформатора может охватить большую часть контролируемых параметров.

Сегодня можно наблюдать значительный прогресс во внедрении, применении и автоматизации современных методов выявления дефектов. Дальнейшее развитие в этой области позволит максимально продлить срок службы силовых трансформаторов, что является главной задачей диагностирования.

В работе выполняется анализ возможности контроля состояния изоляции силовых трансформаторах высокого напряжения по характеристикам частичных разрядов, измеряемых в условиях воздействия электромагнитных помех.

*В.С. Кузнецов, маг.;
рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В настоящее время методы расчета электрической прочности силовых трансформаторов устарели. В существующих методиках не учитываются влияния конструктивных особенностей главной изоляции силовых трансформаторов и не содержатся рекомендации по созданию расчетных моделей. В связи с этим разработка метода расчета электрической прочности главной изоляции силовых трансформаторов является актуальной на сегодняшний день. Целью данной работы является совершенствование методов расчета электрического поля силовых трансформаторов с помощью программного средства ANSYS.

При выполнении анализа напряженности поля была разработана методика расчета электрического поля силового трансформатора. В соответствии с методикой, на первом этапе составляется расчетная 3D модель, которая практически полностью описывает конструкцию обмоток трансформатора. Стоит отметить, что в связи с ограниченностью расчета в среде ANSYS, была рассчитана только одна фаза. На втором этапе непосредственно производится расчет электрического поля силового трансформатора при помощи программного комплекса. При этом строятся распределения параметров поля в расчетной области. Для расчетов была построена геометрия трансформатора 110 кВ, которая учитывает конструктивные особенности трансформаторов, в частности, расстояние между обмотками, расстояние от обмоток до барьеров и емкостных колец.

В результате работы было получено распределение напряженности между обмотками трансформатора в масляном канале и выявлены слабые места с наибольшей напряженностью поля. Разработанная методика расчета электрического поля между обмотками трансформатора может быть использована для определения основных электрических характеристик между обмотками, в том числе распределение напряженности между обмотками в середине, а также на краях обмоток и распределение напряжения между обмотками.

Библиографический список

1. Мельникова, О.С., Кузнецов, В.С.. Метод расчета электрической прочности масляных каналов главной изоляции силовых трансформаторов / Вестник ИГЭУ. №5, 2020. – С. 48-55.

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

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В процессе эксплуатации высоковольтного оборудования происходит электрическое старение изоляции, сопровождающееся возникновением в ней необратимых изменений. Если ухудшение электрофизических характеристик изоляции останется незамеченным, произойдет пробой изоляционной конструкции и выход её из строя.

Для предотвращения или уменьшения аварийности электрооборудования высокого напряжения проводятся профилактические испытания, целью которых является своевременное обнаружение возникающих дефектов изоляции, контроль динамики их развития и своевременный вывод неисправного оборудования из эксплуатации. При проведении высоковольтных испытаний и осуществлении контроля электроизоляционных характеристик оборудования особые требования предъявляются к испытательным установкам, к процедуре самих испытаний и к средствам измерения, как испытательных напряжений, так и измеряемых характеристик.

Учитывая многообразие используемых при испытаниях тестовых воздействий (повышенное постоянное или выпрямленное напряжение, повышенное напряжение промышленной частоты, повышенное напряжение сверхнизкой частоты, грозовые или коммутационные импульсы напряжения) при выборе измерительных преобразователей испытательного тока и напряжения и самой измерительной аппаратуры должны учитываться характерные особенности объекта испытания, задачи, решаемые при испытании, и расположение испытательного оборудования и средств измерений относительно испытываемого объекта.

Выполнение требований к расположению средств измерения высоких напряжений на испытательном поле особенно актуально для измерительных шаровых разрядников, для которых погрешность измерения существенно зависит от расстояний между электродами разрядника до оборудования и конструкций, используемых при проведении испытания.

В работе выполнен анализ компоновки элементов испытательного генератора импульсных напряжений, средств измерения импульсных напряжений и испытываемого объекта с учетом их взаимного влияния друг на друга при проведении импульсных испытаний.

А.Ю. Невольников, студ.;
рук. М.В. Прусаков, к.т.н.
(ИГЭУ г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Для исследования переходных процессов, возникающих при формировании разрядов, регистрирующая аппаратура должна подключаться к цепи с помощью устройств обеспечивающих необходимую точность и безопасное проведение измерений. В качестве таких устройств в высоковольтных испытательных лабораториях используют трансформаторы напряжения или делители напряжения различных конструкций.

Подключение регистрирующих приборов с помощью трансформатора напряжения существенно повышает безопасность производства работ, но погрешности при выполнении измерения высокочастотных переходных процессов могут достигать нескольких десятков процентов.

Поэтому при изучении переходных процессов наиболее приемлемым является подключение регистрирующих приборов к исследуемому объекту с помощью делителя напряжения. Делитель напряжения (ДН) – это измерительное устройство, предназначенное для снижения высокого измеряемого напряжения в определенное число раз. К низковольтному плечу ДН через соединительную линию подключают регистрирующий прибор (осциллограф, вольтметр).

Существует несколько типов ДН:

- омические – построены на активных сопротивлениях;
- ёмкостные – изготовленные на основе конденсаторов;
- ёмкостно-омические (смешанные) – позволяют добиться наилучших результатов при исследовании переходных процессов в широком диапазоне частот.

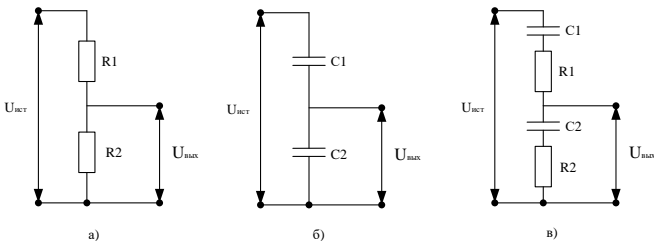


Рис. 1. Упрощенные схемы замещения делителей напряжения: а) омический, б) ёмкостной, в) смешанный ёмкостно-омический.

*Д.С. Пушков, маг.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6-10 кВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Во время эксплуатации кабельные линии (КЛ) подвергаются воздействию различных внешних факторов, влияющих на характеристики изоляции (сдвиг почвы, её увлажнение, сезонные температурные колебания воздуха), а также эксплуатационным воздействиям, таким как коммутационные и индуктированные грозовые перенапряжения и токовые перегрузки. Все это может привести к повреждению изоляции и выходу КЛ из строя. Для предотвращения аварий в КЛ проводятся профилактические испытания, целью которых является определение текущего состояния кабельной изоляции. В настоящее время основным способом оценки состояния изоляции КЛ является испытание кабеля 6 - 10 кВ воздействием повышенного постоянного или выпрямленного напряжения. Благодаря этой процедуре удаётся оценить работоспособность КЛ и своевременно произвести ремонт или замену.

Недостатком такого способа оценки состояния КЛ является то, что на изоляцию во время испытания воздействует напряжение, в 4-6 раз превышающее номинальное, что вызывает её ускоренное электрическое старение, сопровождающееся возникновением необратимых изменений в изоляции. Эти процессы особенно опасны для кабелей, выработавших свой ресурс. Кроме того испытание воздействием повышенного выпрямленного напряжения недопустимо для КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Для повышения эффективности профилактических мероприятий необходимо совершенствование существующих способов диагностирования изоляции КЛ, выполняемых без использования повышенных испытательных напряжений.

В состав неразрушающих испытаний изоляции, проводимых под рабочим напряжением, входит способ регистрации характеристик частичных разрядов.

В работе выполнен анализ возможности регистрации ЧР в изоляции силовых кабелей в условиях воздействия электромагнитных помех с помощью трансформаторных датчиков, установленных на линейных проводниках КЛ и в цепи заземления экрана кабеля.

А. Д. Рудаков, маг.;
рук. Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

Трансформаторы повышенной частоты являются неотъемлемым элементом систем переменного тока повышенной частоты. В настоящее время подобные системы могут быть применены в различных отраслях науки и техники – электротехнология, строительство, зарядная инфраструктура для электромобилей и др.

В основе методики расчета трансформаторов повышенной частоты лежит принцип расчета импульсных трансформаторов [1] и выбор мощности $P_{номт}$ или размеров сердечника (S_0S_c) по соотношению (1):

$$(S_0 \cdot S_c)_{расч} = \left(\frac{P_{номт} \cdot 10^4}{4 \cdot k_\phi \cdot k_J \cdot k_{II} \cdot B_M \cdot f} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} \quad (1)$$

где f – частота рабочего напряжения; B_M – максимальное значение индукции магнитного поля в магнитопроводе; k_ϕ , k_J , k_{II} – обмоточные коэффициенты; γ – безразмерный показатель.

Соотношение (1) для Ш-образных сердечников работает в обе стороны – можно определить необходимую мощность трансформатора при заданных габаритах магнитопровода и наоборот. Результаты расчетов по методике для ферритовых магнитопроводов приведены в [1].

В настоящее время актуальным является разработка и создание силовых трансформаторов с магнитопроводом из аморфной стали. По сравнению с ферритом такой материал магнитопровода обладает большей магнитной индукцией и магнитной проницаемостью, что благоприятно сказывается на эффективности трансформатора в целом. Авторами разрабатывается методика расчета трансформаторов повышенной частоты на основе аморфной стали с использованием упрощенного, по сравнению с (1), соотношения определения мощности трансформатора.

Библиографический список

1. Шадриков, Т.Е. Техничко-экономические показатели силовых трансформаторов высокого напряжения локальных электроэнергетических систем переменного тока повышенной частоты / Т.Е. Шадриков, А.М. Соколов, А.В. Гусенков, В.Д. Лебедев // Энергетик. № 2, 2015. – С. 11–14.

*О.Д. Чернова, студ.;
рук. Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ПЕРСПЕКТИВАХ АМОΡФНЫХ СПЛАВОВ В МАГНИТОПРОВОДАХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

В связи с развитием электротехнических комплексов повышенной частоты и применением их, например, для организации сети зарядных станций электромобилей актуальной задачей является оптимизация конструкции и характеристик согласующих трансформаторов повышенной частоты.

Выполненные ранее исследования были проведены с использованием силовых трансформаторов, работающих от инвертора с несинусоидальной формой выходного напряжения и частотой в 13 кГц [1]. Такие трансформаторы были выполнены на основе магнитопровода из феррита.

В настоящее время актуальным является использование в качестве магнитопроводов аморфных композиционных материалов с высокой начальной магнитной проницаемостью. Для снижения потерь холостого хода трансформатора материалы, применяемые для изготовления магнитопроводов, должны иметь высокую магнитную проницаемость, низкую коэрцитивную силу, небольшую площадь петли гистерезиса и малые потери энергии на вихревые токи.

К преимуществам использования аморфной стали в трансформаторах, сниженные потери холостого хода в 4-5 раз (по сравнению со сталью), в 2 раза по сравнению с ферритом, высокие значения рабочей индукции в 1,2 Тл по сравнению с ферритом. Значимым преимуществом является механическая прочность – сердечник из аморфной стали, состоящий из лент толщиной в 30-50 мкм, лучше воспринимает динамические нагрузки в обмотках трансформатора в нормальных и переходных режимах.

Библиографический список

1. Шадриков, Т.Е. Техничко-экономические показатели силовых трансформаторов высокого напряжения локальных электроэнергетических систем переменного тока повышенной частоты / Т.Е. Шадриков, А.М. Соколов, А.В. Гусенков, В.Д. Лебедев // Энергетик, № 2, 2015. – С. 11–14.

Содержание

Секция 13. Электрические системы

<i>Халилова Т.И., рук. Халилов А.С.</i> Определение приближенных значений параметров электрических режимов к фактическим значениям для использования в расчёте	4
<i>Рустамова А.И., Казбакова И.Р., рук. Маслов И.Н.</i> Компенсация реактивной мощности в жилом секторе	5
<i>Рустамова А.И., Казбакова И.Р., рук. Маслов И.Н.</i> Развитие автоматизированных информационно-измерительных систем	6
<i>Бабаева М.А., рук. Лосев Д.Ю.</i> Методы прогнозирования параметров режима электроэнергетических систем	7
<i>Бабаева М.А., рук. Лосев Д.Ю.</i> Научно-обоснованное прогнозирование – необходимое условие эффективного управления электроэнергетической системой	8
<i>Марченко А.И., Мурашкина И.С., рук. Фишов А.Г.</i> Интеграция локальных систем электроснабжения в электрические сети	9
<i>Юдина А., рук. Юдина А.А.</i> Верификация динамических расчетных моделей энергосистем	10
<i>Куликов Ф.А., Тычкин А.Р., рук. Иванов И.Е., Мурзин А.Ю.</i> Анализ возможности использования векторных измерений для регистрации параметров коротких замыканий с применением комплекса «RTDS»	11
<i>Рафиков В.Р., рук. Братолобов А.А., Иванов И.Е.</i> Сравнительный анализ и верификация математических моделей, описывающих переходные процессы в синхронной машине	12
<i>Рафиков В.Р., Тычкин А.Р., рук. Братолобов А.А., Иванов И.Е.</i> Физико-математическое моделирование переходных процессов в синхронном генераторе	13
<i>Абрамов Н.М., Кабанов В.О., рук. Кулешов А.И.</i> Исследование возможностей генерирующего оборудования ИВТЭЦ-2 для выдачи мощности в систему городской электросети	14
<i>Абрамов Н.М., Шустин В.Ю., рук. Кулешов А.И.</i> Исследование основных современных методов снижения потерь электроэнергии в электрических сетях	15
<i>Шустин В.Ю., рук. Кулешов А.И.</i> Перспективы применения накопителей электроэнергии в мире и в России	16
<i>Кабанов В.О., рук. Братолобов А.А.</i> Моделирование высоковольтной линии электропередачи для определения предела передаваемой мощности	17
<i>Суханова О.С., Гусельщикова А.В., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Исследование влияния сечения провода воздушной линии электропередачи на предел передаваемой мощности	18
<i>Вергазов Т.Н., рук. Бушуева О.А.</i> Исследование режимов протяженных линий электропередачи с устройствами поперечной компенсации	19
<i>Умнов Я.А., рук. Иванов И.Е., Мурзин А.Ю.</i> Анализ архивов синхронизированных векторных измерений при коротких замыканиях на воздушных линиях 500 кВ	20

<i>Ильинская Т.С., Судаков Д.В., рук. Мурзин А.Ю.</i> Анализ и совершенствование алгоритмов функционирования устройств автоматики ликвидации асинхронного режима Костромской ГРЭС	21
<i>Ильинская Т.С., Судаков Д.В., рук. Мурзин А.Ю.</i> Анализ и совершенствование алгоритма функционирования локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости Костромской ГРЭС	22
<i>Тычкин А.Р., рук. Яблоков А.А., Иванов И.Е.</i> Экспериментальная установка для автоматизированных исследований методов определения мест повреждения, использующих синхронизированные векторные измерения	23
<i>Чудинов Ю.А., рук. Иванов И.Е.</i> Определение параметров линий электропередачи 500 кВ по реальным архивам синхронизированных векторных измерений	24
<i>Гречухина А.А., Козина Н.А., рук. Мартиросян А.А.</i> Исследование устойчивости ЭЭС в программном комплексе MATLAB	25

Секция 14. Электроснабжение

<i>Васильев А.Д., рук. Иванова О.А.</i> Заземление нейтрали трансформатора через дугогасящий реактор	27
<i>Веселов Л.Е., Шалухо А.В., рук. Соснина Е.Н.</i> Выбор мощности ТОТЭ в системе электроснабжения животноводческого предприятия	28
<i>Ворошилов А.А., Шувалова Ю.Н.</i> Использование технологии больших данных в электроэнергетике	29
<i>Иванов А.В., Бедретдинов Р.Ш., рук. Соснина Е.Н.</i> Оценка несинусоидальности ИЭС с учетом интергармонических составляющих	30
<i>Муравьев Г.Г., рук. Грачева Е.И.</i> Активные и реактивные потери в кабельных линиях	31
<i>Муханова П.П., рук. Грачёва Е.И.</i> Исследование технических характеристик автоматических выключателей	32
<i>Панкова А.С., Пронина О.А., Чумарин К.Е., рук. Лоскутов А.Б.</i> Современные проблемы и их решение с помощью адаптивных алгоритмов работы системы длительной автоматической разгрузки по току	33
<i>Рамазанова Р.И., Исаева О.В., Трофимова М.Н., рук. Логачева А.Г.</i> Обзор технологий аккумуляторных батарей	34
<i>Амон У.М., рук. Бушуева О.А.</i> Инновационные пути развития электроэнергетики республики Кот-д'Ивуар	35
<i>Виноградов Д.В., рук. Шульпин А.А.</i> Исследование оптимизационных методов при выборе батарей статических конденсаторов	36
<i>Гарелина А.А., рук. Сорокин А.Ф.</i> Использование технико-экономических методов при выборе сечения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена	37
<i>Константинов Н.Р., рук. Бушуева О.А.</i> Повышение эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия	38
<i>Малова М.Н., рук. Сорокин А.Ф.</i> Расчет системы накопления электрической энергии для обеспечения надежности электроснабжения социально-значимых объектов 0,4 кВ	39
<i>Молодцова И.Н. рук. Бушуева О.А.</i> Особенности режимов системы электроснабжения объекта с источником малой генерации	40

<i>Седов С.А., рук. Шульпин А.А.</i> Внедрение автоматизированных систем учета электроэнергии в бытовой сектор	41
<i>Селиверстова Н.С., рук. Балдов С.В.</i> Повышение эффективности работы осветительных установок наружного освещения	42
<i>Солдаткина Е.С., рук. Бушуева О.А.</i> Анализ режимов распределительной электрической сети района города с объектом распределенной генерации	43
<i>Соловьев Е.Р., Молодкина В.С., рук. Аржанникова А.Е., Лебедев В.Д.</i> Разработка мероприятий по снижению потерь в распределительных сетях на примере Суздальского РЭС	44
<i>Чудинов Ю.А., рук. Лебедев В.Д.</i> Проектирование системы питания в макете устройства для плавки льда на ЛЭП	45
<i>Фролов А.В., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка макета устройства для плавки льда на линиях электропередачи	46
<i>Фролов А.В., Чудинов Ю.А., рук. Бушуева О.А.</i> Получение статических характеристик комплексной нагрузки по напряжению энергообъекта Ивановской энергосистемы	47
<i>Рыбкова Д.Ю., рук. Галимова А.А.</i> Защита линий наружного освещения автомобильных дорог от коротких замыканий	48
 Секция 15. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем	
<i>Алексинский А.С., Воронин П.М., рук. Алексинский С.О.</i> Локальная информационно-управляющая сеть на основе микроконтроллеров STM32 для мультиагентной релейной защиты шин	50
<i>Черный Д.С., рук. Шадрикова Т.Ю.</i> Разработка модели УБК дистанционной защиты ЛЭП в программном комплексе PSCAD	51
<i>Миловидов И.А., Розин В.Е., рук. Фомичев А.А.</i> Определение относительно значения напряжения по апериодической составляющей тока	52
<i>Галанин И.А., рук. Шадрикова Т.Ю.</i> Обзор применения методов машинного обучения для целей релейной защиты	53
<i>Холов Н.Б., Солиева М.Б., рук. Волошин А.А.</i> Управление энергосистемой малой мощности с преобладанием малых ГЭС	54
<i>Иорисов Д.М., рук. Лебедев В.Д.</i> Исследование динамических процессов перемагничивания насыщаемого трансформатора блока питания от первичного тока линии	55
<i>Кузьмина Н.В., рук. Шуин В.А., Лебедев В.Д.</i> Применение COMSOL MULTIPHYSICS для определения продольных параметров и моделирования ВЛЭП	56
<i>Лебедев А.В., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка электронного модуля для макета устройства плавки льда на ВЛЭП	57
<i>Манякова А.А., Комасова Е.А., рук. Мигунова Л.Г.</i> Анализ методов расчёта надёжности систем релейной защиты в электроэнергетике	58
<i>Панкова А.С., Пронина О.А., Огнев Д.С., рук. Лоскутов А.Б.</i> Апробация алгоритма токовой разгрузки в распределительных сетях	59
<i>Петров А.Е., рук. Кутумов Ю.Д.</i> Исследование устойчивости функционирования I ступени дистанционной защиты от коротких замыканий на землю	60

<i>Рафигов В.Р., Готовкина Е.Е., рук. Яблоков А.А.</i> Экспериментальное построение типовых кривых для проектирования малогабаритного преобразователя тока цифрового трансформатора	61
<i>Суворцов А.А., Чукурин А.М., рук. Фомичев А.А.</i> Определение относительного значения напряжения по замерам токов в двух точках сети	62
<i>Тычкин А.Р., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка методики испытаний трансформатора напряжения и оценка возникновения феррорезонанса в сетях с изолированной нейтралью	63
<i>Вихарев Д.Ю., рук. Родин Н.А.</i> Математическое моделирование электромагнитного трансформатора тока с тороидальным магнитопроводом	64
<i>Вихарев Д.Ю., рук. Родин Н.А.</i> Математическое моделирование вращающихся электрических машин переменного тока с равномерным воздушным зазором	65
<i>Юдин А.А., рук. Юдина А.А.</i> Обзор устройств противоаварийной автоматики	66
<i>Земсков А.А., рук. Алексинский С.О.</i> Среда разработки микроконтроллера STM32CUBEIDE и ее применение для целей релейной защиты	67

Секция 16. Электротехника и электротехнологии

<i>Дятко М.М., рук. Савенко А.Е.</i> Использование генератора Хендершота для работы на судах	69
<i>Федосеева В.П., рук. Сайкин М.С.</i> Общие подходы к конструированию магнитожидкостных виброметрических датчиков	70
<i>Кузнецов К., рук. Савенко А.Е.</i> Настоящее и будущее электроэнергетики судов	71
<i>Лейман И.Е., рук. Савенко А.Е.</i> Анализ электрических систем управления	72
<i>Менжинский А.Б., Менжинский П.Б., рук. Малашин А.Н.</i> Уточненные электромагнитные модели электрических генераторов возвратно-поступательного движения	73
<i>Семин А.Д., рук. Долгих И.Ю., Марков М.Г.</i> Разработка микропроцессорной системы контроля состояния футеровки тигля индукционной плавильной печи	74
<i>Жолобов А.А., рук. Тихонов А.И.</i> Проектирование шаговых двигателей на основе цифровых двойников	75
<i>Симонов М.А., рук. Снитько И.С.</i> Разработка модели многообмоточных трансформаторов для анализа различных режимов работы	76
<i>Симонов М.А., рук. Лебедев В.Д.</i> К расчету сопротивления заземления	77
<i>Порохин В.А., рук. Савенко А.Е.</i> Использование солнечной энергии на судах	78
<i>Степанов Л.Г., рук. Савенко А.Е.</i> Использование дисульфида молибдена вместо кремния в качестве основы для процессоров	79

Секция 17. Электроэнергетика: прошлое, настоящее, будущее

<i>Бегунова А.А., Анисимов А.М., рук. Ушакова Н.В.</i> Цифровизация электроэнергетики в России	81
--	----

<i>Беспалова А.О., рук. Захаров М.А., Скоробогатов А.А.</i> Моделирование генератора в среде ANSYS в целях диагностирования его узлов	82
<i>Васильева Ю.З., Кононенко П.Н. рук. Пак А.Я.</i> Электродуговой синтез материалов в системе с молибденом, углеродом и азотом: баланс масс	83
<i>Виноградов И.С., рук. Батаева В.В.</i> Единая информационная модель ЕЭС России и направление ее использования	84
<i>Лубенский А.А., рук. Савельев В.А.</i> Перспективы развития микрогенерации в России и мире	85
<i>Махмудов Т.Ф.</i> Основные компоненты SMART GRID	86
<i>Павлова В.С., рук. Крюков Е.В.</i> Вопросы разработки энергетического интернета	87
<i>Резенькова М.А., рук. Савельев В.А.</i> Международная арктическая станция "Снежинка" – драйвер развития и применения технологий будущего	88
<i>Терновская А.В., рук. Егоров А.О.</i> Вводы в эксплуатацию мощностей ВЭС и СЭС в ЕЭС России за период с 2010 по 2020 годы	89
<i>Терновская А.В., рук. Егоров А.О.</i> Оценка планов по вводу в работу ветровых и солнечных электростанций	90
<i>Шумский Н.В., Семенов И.И., рук. Соснина Е.Н.</i> Распределение потоков мощности при регулировании напряжения	91

Секция 18. Электрооборудование и режимы
электрических станций и подстанций

<i>Барышников Н.С., Ладин Д.А., Страхов А.С., рук. Полкошников Д.А.</i> Причины появления гармоник во внешнем магнитном поле в режиме выбега асинхронного электродвигателя	93
<i>Бобков С.А., рук. Новоселов Е.М.</i> Возможность применения возобновляемых источников энергии в сетях с распределительной генерацией	94
<i>Брезгин Д.Ю., рук. Сулыненков И.Н.</i> О применении отечественного программного обеспечения для решения задач в электроэнергетике	95
<i>Величко П.О., рук. Лапшин В.М.</i> Режимы работы нейтралей в сетях напряжением 35 кВ	96
<i>Гуцина Я.С., Романова Е.С., Соловьева А.А., рук. Смотров Н.Н.</i> Применение программных комплексов для расчета токов короткого замыкания при проектировании электроустановок	97
<i>Завязкина А.А., Литвинов С.Н., рук. Сулыненков И.Н.</i> Выбор полимерных изоляционных материалов по результатам высоковольтных испытаний	98
<i>Иванов В.А., рук. Сулыненков И.Н.</i> О применении различных типов солнечных батарей	99
<i>Каюмов А.Г., рук. Гусев Ю.П.</i> Влияние несинфазности синхронных генераторов на токи коротких замыканий	100
<i>Косарев С.А., Южанин А.Е., рук. Гусев Ю.П.</i> Термическое действие феррорезонансов в распределительных сетях	101
<i>Кубрак Е.М., рук. Сулыненков И.Н.</i> О применимости схем распределительных устройств для подстанции напряжением 220 кВ	102
<i>Кувенев И.С., рук. Лапшин В.М.</i> Режимы работы нейтралей в сетях 6 кВ собственных нужд электростанции	103

<i>Кукушкин М.П., рук. Лапшин В.М.</i> Использование рабочих характеристик асинхронного двигателя для определения технического состояния агрегатов собственных нужд электростанции	104
<i>Кулев М.О., рук. Новоселов Е.М.</i> Изменение особенностей применения кабелей из сшитого полиэтилена	105
<i>Ладин Д.А., Барышников Н.С., Страхов А.С., рук. Полкошников Д.А.</i> Исследование поведения токов в обмотке ротора при выбеге двигателя с помощью компьютерного моделирования	106
<i>Леднева А.Ю., рук. Лапшин В.М.</i> Об учете параметров кабелей при определении токов подпитки места кз асинхронными двигателями собственных нужд	107
<i>Резенькова М.А., рук. Башин В.Н., Скоробогатов А.А.</i> Расчет токов короткого замыкания на ТЭЦ с учетом динамики нагрузки ТЭЦ в программном комплексе OrCAD	108
<i>Сохань И.В., рук. Лапшин В.М.</i> Кибербезопасность в энергетической отрасли	109
<i>Филоненко И.С., рук. Новоселов Е.М.</i> Анализ повреждаемости силовых трансформаторов	110
<i>Чеканова И.Э., рук. Савельев В.А., Батаева В.В.</i> Особенности проектирования и эксплуатации систем электроснабжения с АСММ в труднодоступных регионах РФ	111
<i>Шайхутдинов И.М., Маясова А.О., рук. Мадышев И.Н.</i> Разработка дополнительной системы охлаждения трансформаторов	112
<i>Шуаиб С., рук. Лапшин В.М.</i> Электроэнергетика республики Тунис	113
<i>Щипков М.А., рук. Новоселов Е.М.</i> Роль и место накопителей в создании гибридных электростанций с ВИЭ	114

Секция 19. Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

<i>Воробьев А.С., Степанычев С.В., рук. Вихарев А.В.</i> Особенности измерения восстанавливающегося напряжения на изоляции высоковольтного оборудования	116
<i>Ковалев Б.О., рук. Словесный С.А.</i> Диагностирование изоляции силовых трансформаторов	117
<i>Кузнецов В.С., рук. Мельникова О.С.</i> Расчет электрического поля в главной изоляции силовых трансформаторов	118
<i>Михайлова К.Д., рук. Словесный С.А.</i> Особенности проведения испытаний высоковольтных изоляционных конструкций	119
<i>Невольников А.Ю., рук. Прусаков М.В.</i> Разработка высоковольтного делителя напряжения для исследования переходных процессов	120
<i>Пушков Д.С., рук. Словесный С.А.</i> Испытание изоляции кабельных линий 6-10 кВ в условиях эксплуатации	121
<i>Рудаков А.Д., рук. Шадриков Т.Е.</i> Методика расчета трансформаторов повышенной частоты с сердечником из аморфной стали	122
<i>Чернова О.Д., рук. Шадриков Т.Е.</i> О перспективах аморфных сплавов в магнитопроводах силовых трансформаторов повышенной частоты	123

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2021»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 3

*Составители: Макаров А.В., Шадриков Т.Е.
Компьютерная верстка Дыдыкиной Н.Н.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,56.
Тираж 100 экз. Заказ № .
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ