

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



75-летию
теплоэнергетического факультета
посвящается

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2023»

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

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 16 - 18 мая 2023 года

ТОМ 3

ИВАНОВО

ИГЭУ

2023

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2023»: материалы конференции. В 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2023. – 105 с.

ISBN 978-5-00062-559-0

ISBN 978-5-00062-564-4(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; Егорычева Е.В. – декан ИВТФ; Карякин А.М. – декан ФЭУ.

Ответственный секретарь: Аполонский В.В.

Координационная группа: Вольман М.А., Мошкарина М.В., Зайцева Е.В., Сидоров А.А., Шадриков Т.Е., Аполонский В.В.

СЕКЦИЯ 13
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

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

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

К.Р. Крайнов, студ.;
рук. А.Г. Сорокин, к.т.н., доц.
(СамГТУ, Самара)

НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕСТОВОГО СТЕНДА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ SCADA

Системы SCADA используются практически во всех критически важных инфраструктурных активах. Необходимо проанализировать риск для систем SCADA с точки зрения уязвимости, угроз и потенциального воздействия. При попытке выполнить анализ систем SCADA, связанный с безопасностью, возникает несколько проблем, все из которых могут быть решены с помощью хорошо разработанного тестового стенда безопасности SCADA.

Тестирование на проникновение в живые системы является эффективным методом обнаружения уязвимостей и оценки воздействия атак. SCADA-системы управляют физическими процессами и имеют реальные последствия, связанные с их действиями. Следовательно, очень опасно проводить тесты на проникновение в живые SCADA-системы; для этой цели наиболее подходит испытательный стенд SCADA.

Важно обеспечить, чтобы классические решения безопасности информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) не оказывали негативного влияния на операции, особенно когда среды SCADA используют специализированные протоколы, такие как Modbus или DNP3. Это требует разработки и развертывания планов тестирования, архитектур и конфигураций, а также тщательного анализа результатов тестирования. Эти действия могут выполняться только с помощью тестового стенда SCADA.

Для систем SCADA доступно относительно немного методов оценки рисков. Одним из наиболее заметных является метод, разработанный для водоканалов в Соединенных Штатах. Метод, основанный на совместных оценках отраслевых экспертов и экспертов по безопасности SCADA, предполагает, что потенциальные последствия сбоя системы SCADA уникальны для инфраструктурного актива. Поэтому оценка рисков не может быть выполнена с использованием общей информации, связанной с безопасностью системы SCADA. Как следствие, разработка эффективного метода анализа рисков требует реалистичного испытательного стенда безопасности SCADA.

Многие стандарты безопасности ИКТ, противоречат требованиям к среде SCADA. Риск для систем SCADA настолько высок, что рассматриваются даже несовместимые и конфликтующие стандарты безопасности и лучшие практики. Наиболее эффективным способом решения этих проблем является создание испытательного стенда безопасности SCADA. [1]

Библиографический список

1. **Christiansson H., Luijff E.** Creating a European SCADA Security Testbed // Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA, 2007.

В.С. Соболев, студ.;
рук. А.Е Савенко доц.
(КГМТУ, г. Керчь)

АНАЛИЗ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Тяговая батарея является одним из наиболее значимых и дорогостоящих компонентов автомобиля с аккумуляторным питанием. Его выбор основан на анализе ряда экономических, тяговых, скоростных, а также технических и эксплуатационных характеристик.

При проектировании автомобиля эксплуатационные показатели должны быть предусмотрены таким образом, чтобы батарея работала в безопасной рабочей зоне. Наиболее опасным последствием отклонения аккумулятора от оптимального режима работы является тепловой разгон — неконтролируемое повышение его температуры на фоне ускоряющихся химических реакций, сопровождающееся выбросом газа и потенциальным воспламенением или взрывом. Тепловой разгон является следствием перегрева батареи.

Для химических типов ячеек существуют разные максимально допустимые температуры. Химический тип ячеек, определяемый материалами анода и катода, выбирается исходя из удельной плотности энергии, диапазон рабочих напряжений, срока службы, максимально допустимой температуры, стоимости.

Для обеспечения максимального ресурса батареи рекомендуется разряд не более не более 80% от его номинальной мощности. Для выбора тяговой батареи делают статистическую выборку из эквивалентных значений среднесуточного пробега, длины рейса, количества рейсов, средней рабочей скорости. На основе цикла движения в каждый момент времени определяется сила разрядного тока, необходимая для работы электротягового оборудования и потребителей. Результирующий текущий профиль интегрируется во времени для определения необходимой емкости аккумулятора.

Отрицательные значения соответствуют заряду и восстановлению. Сила тока во время движения автомобиля может быть отрицательной, поэтому дополнительно учитывается среднеквадратичное значение силы тока. Загрузив данные в среду математического моделирования, можно получить взаимосвязь состояния заряда и ежедневного пробега автомобиля с временем движения.

Библиографический список

1. **Состоков А.** Влияние критериев эффективности на выбор электротягового оборудования и системы контроля температуры для транспортного средства, работающего на батареях, с электрическим тяговым приводом: Процедура транспортных исследований, 2021.

*А.В. Серов, асп. (НГТУ), М.В. Андриухин, вед. инж. (ННИИРТ, г. Н. Новгород);
рук. В.Г. Титов, д.т.н., проф. (НГТУ, г. Нижний Новгород)*

ДРАЙВЕР С ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТОЙКОЙ ИНВЕРТОРА

Для управления силовыми ключами инвертора ключевую роль играет корректно разработанный драйвер управления затвором. Новизна работы заключается в разработке драйвера на аналоговых компонентах, поскольку в настоящее время большая трудность заключается с изготовлением цифровых законченных устройств, а также ограничением отечественной элементной базы.

Рассмотрим имитационную модель драйвера для управления одной стойки силового инвертора, показанного на рисунке 1. Устройство реализовано с гальванической развязкой. Данное решение было принято из соображений повышенной надежности и помехоустойчивости к устройству. Импульсы с генератора сигналов G1A приходят через инвертирующие усилители на первичную обмотку трансформатора, формируя данным способом фронт и спад сигнала управления. Вторичная обмотка разделена на 2 равные части для исключения синфазной помехи, возникающими из-за наличия паразитных емкостей на линии [1]. Далее сигнал с первичной обмотки трансформатора с нужным коэффициентом трансформации поступает на выпрямитель, построенный на транзисторах, выступающий демодулятором в данной схеме. RC-цепочкой задаем мертвое время переключения: $\tau = R \times C = 2200 \times 33 \times 10^{-9} = 72,6 \text{ мс}$

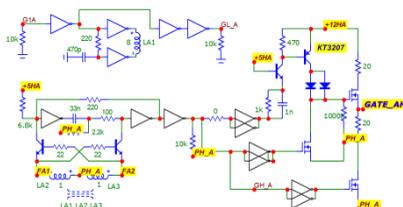


Рис. 1. Драйвер управления затвором силовым ключом

В результате была создана имитационная модель драйвера. Время задержки составило 72,6 мс. В дальнейшем планируется реализация данной модели на физической установке и апробация в реальном устройстве для управления частотно-регулируемым электроприводом.

Библиографический список

1. **Ваняев В.В.** Преобразовательная техника: учеб. пособие / В.В. Ваняев; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е.Алексеява. – Н. Новгород, 2020. – 135 с.

А.А. Юдин, студ.;
рук. А.А. Казанцев, ст. препод.
(СамГТУ, г. Самара)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В современных условиях снижения потерь энергии и мощности, в конструкциях силовых трансформаторов можно применять новые технологические решения. Одним из таких решений является использование аморфного магнитопровода, который для создания магнитного поля в трансформаторе, использует сверхпроводниковые обмотки. Материал аморфного магнитопровода создается быстрым охлаждением расплавленного металла, что дает особую хаотическую аморфную структуру с высокой магнитной проницаемостью и низкими потерями энергии. Сверхпроводниковые обмотки обладают свойством нулевого сопротивления электрического тока при определенных условиях, что также способствует уменьшению потерь энергии и повышению КПД. Кроме того, оба материала обладают высокой стойкостью к коррозии и механическим повреждениям, что повышает надежность трансформатора.[1-2]

Для оценки различий в потерях между традиционными и аморфными трансформаторами было выполнено математическое моделирование местной электрической сети с учетом применения устаревающих и современных моделей трансформаторов.

Чтобы оценить разницу в потерях между традиционными и аморфными трансформаторами, применили математическое моделирование в районной электрической сети с использованием программного обеспечения MS Excel и RastrWin3. Проведено сравнительное исследование экономических показателей при применении традиционных и инновационных трансформаторов, а также рассчитаны потери аморфных трансформаторов по традиционным методикам.

Библиографический список

1. **Гольдштейн В.Г. и др.** Анализ эксплуатационных свойств трансформаторов с сердечниками из аморфных материалов и защита их с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений / Гольдштейн В.Г., Инаходова Л.М., Казанцев А.А., Молочников Е.Н. – Вестник СамГТУ. Серия "Техн. науки". – Самара, №4 (40). 2013 г. – С. 149-157.
2. **Инаходова Л.М.** О проблемах энергосбережения и повышения энергоэффективности при применении современных силовых трансформаторов / В.Г. Гольдштейн, Л.М. Инаходова, А.А. Казанцев // Известия вузов. Электромеханика, 2014. – №5. – С. 107-111.

*В.И. Солюянов**(АО «Татэлектромонтаж», г. Казань)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ЧАСТИ УДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРИМЕРЕ АГЛОМЕРАЦИИ «Г. МОСКВА – МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ»

Обращения организаций, физических лиц в правительственные органы регионального и федерального уровня показывают остроту проблемы несоответствия расчетных электрических нагрузок при проектировании их фактическим значениям при эксплуатации жилых и общественных зданий [1, 2]. Данные значения значительно завышены, что обуславливает неоправданное увеличение стоимости строительства систем электропитания [3, 4]. В первую очередь, это касается таких субъектов Российской Федерации, крупнейших агломераций, как г. Москва и Московская область (МО), являющихся лидерами ввода в эксплуатацию жилых и общественных зданий [1].

Выполненные натурные измерения электропотребления на примере жилых зданий г. Москвы и МО подтвердили обоснованность обращений о завышенных значениях нормативных значений удельных электрических нагрузок. Исследование показало, что целесообразно формирование самостоятельной группы мегаполисов, куда в первую очередь должна быть включена агломерация «г. Москва – МО» (доказано совпадением значений удельного электропотребления и удельной электрической нагрузки в пределах статистической погрешности), с перспективой включения в неё других агломераций после соответствующих натурных измерений.

Библиографический список

1. **Солюянов Ю.И. и др.** Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы / Солюянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. // Электрические станции, 2023. № 2(1099). – С. 22-28. EDN WUEGJL.
2. **Солюянов, Ю. И. Ахметшин А.Р., Солюянов В.И.** Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 3. – С. 47-57. EDN LANQDE.
3. **Солюянов Ю.И. и др.** Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции / Солюянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солюянов В.И. // Вопросы электротехнологии, 2021. № 2(31). – С. 57-67.
4. **Солюянов Ю.И. и др.** Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания / Солюянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солюянов В.И. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2021. Т. 23. № 6. – С. 134-147. EDN MBYUSE.

Ф.А. Куликов;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ПО СИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕКТОРНЫМ
ИЗМЕРЕНИЯМ**

Применение технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ) дает возможность использования более сложных алгоритмов дистанционного определения места повреждения (ОМП), основанных на оптимизации системы нелинейных уравнений, составленных для исследуемой воздушной линии (ВЛ). Такой подход позволяет адаптировать алгоритм под конкретную ВЛ.

В соответствии с [1] достижение высокой точности ОМП возможно лишь при тщательной адаптации устройств и алгоритмов к погонным параметрам линии в момент короткого замыкания (КЗ). Исходя из этого возможны два пути решения проблемы несоответствия паспортных и реальных параметров ВЛ: уточнение параметров на основе замеров тока и напряжения, наблюдаемых во время КЗ и дальнейшее их использование в алгоритме ОМП или задание этих параметров в качестве искомым переменных при оптимизации переопределенной системы уравнений.

Целью исследования является анализ эффективности разработанных вариантов оптимизационных задач в части ОМП и параметрической идентификации параметров схемы замещения ВЛ с применением программного комплекса MATLAB для обработки данных и программно-аппаратного комплекса RTDS для получения СВИ токов и напряжений. Сравнение разработанных алгоритмов ОМП производится с формульными алгоритмами, нашедшими применение в инженерной практике.

Анализ результатов численных экспериментов показывает перспективность применения оптимизационных методов ОМП на ВЛ и их меньшую чувствительность к неточностям в задании погонных параметров исследуемой ВЛ по сравнению с формульными алгоритмами.

Библиографический список

1. Козлов В.Н., Бычков Ю.В., Ермаков К.И. О точности современных устройств ОМП // Релейная защита и автоматизация, №1, 2016. – С. 43-47.

Я.А. Умнов, асп.;
рук. И.Е. Иванов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕАЛИЗАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ УЧАСТКОВ ЭЭС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОМП ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Дистанционные методы определения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) основаны на использовании параметров аварийного режима. Исследование указанных методов ОМП предполагает обработку большого количества осциллограмм токов и напряжений, зафиксированных по концам ВЛЭП при ее повреждении. Накопить необходимый для исследований объем осциллограмм можно с помощью математического моделирования участков электроэнергетической системы (ЭЭС), содержащих ВЛЭП. Для более качественного анализа математические модели участков ЭЭС должны быть основаны на данных (режимные параметры, параметры элементов и т.д.), коррелирующих с реальными. Ввиду труднодоступности реальных данных, математические модели целесообразно реализовывать на основе примеров из научно-технической литературы [1, 2].

Данная работа посвящена реализации и верификации моделей участков ЭЭС 750 и 220 кВ в программном комплексе *MATLAB*, а также разработке методологии автоматизированного формирования банка осциллограмм переходных процессов при коротких замыканиях на ВЛЭП. Участок ЭЭС 750 кВ включает в себя частично транспонированную ВЛЭП с прилегающими к ней эквивалентированными системами, а участок ЭЭС 220 кВ – кольцевую сеть с транспонированными ВЛЭП и тремя генерирующими узлами.

В работе также рассматривается вопрос учета в моделях изменения частоты при возникновении повреждений. Для этого были проанализированы реальные осциллограммы и архивы синхронизированных векторных измерений, записанные при коротких замыканиях на ВЛЭП 330 и 500 кВ, входящих в состав Единой энергетической системы Российской Федерации.

Библиографический список

1. **ATPDRAW** version 7.3, User Manual, TR F5680, EFI, Norway, 2021.
2. **John J. Grainger, William D. Stevenson**: “Power System Analysis”, McGraw-Hill, Inc., – Singapore, 1994.

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

МЕТОДОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПО ДАННЫМ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ЭЭС

Параметры моделей синхронных генераторов (СГ) могут существенно отличаться в различных источниках и, кроме того, претерпевать изменения в процессе эксплуатации СГ, вызванные, например, старением узлов генераторного оборудования и изменением температуры окружающей среды [1]. Осуществление специальных тестовых испытаний сопряжено со значительными финансовыми затратами [2]. Технология синхронизированных векторных измерений (СВИ) предоставляет возможность актуализации параметров моделей СГ при различных возмущениях в электроэнергетической системе, фиксируемых устройствами СВИ с дискретностью не менее 50 Гц. Полная модель СГ записывается для мгновенных значений режимных параметров в dq -координатах вращающегося ротора, в связи, с чем непосредственное использование данных СВИ для идентификации параметров модели СГ представляет определенные сложности.

Целью настоящего исследования является разработка методологии для определения основных расчетных величин модели СГ в dq -координатах с использованием СВИ, полученных во время короткого замыкания (КЗ). *Методами исследования* являются математическое и физико-математическое моделирование (с использованием программно-аппаратного комплекса «RDTs»). В результате *разработаны и верифицированы* различные подходы для решения оптимизационной задачи по определению параметров модели СГ, а также рассмотрено влияние длительности и удаленности КЗ на результаты решения задачи.

Библиографический список

1. Бердин А.С. и др. Обзор методов определения параметров моделей синхронных генераторов / Бердин А.С., Мойсейченков А.Н., Коваленко П.Ю., Сенюк М.Д., Мухин В.И. // Вестник ЮУрГУ. Энергетика, 2020. Т. 20. – № 4. – С. 103–111.
2. Y. Li et al., “An innovative software tool suite for power plant model validation and parameter calibration using PMU measurements,” in Proc. 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting, – Chicago, IL, USA, 2017, – pp. 1–5.

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

РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ КЛАССИФИКАТОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для обеспечения надежности функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС) необходимо решать множество задач, одной из которых является определение точных значений параметров моделей синхронных генераторов (СГ). Появление синхронизированных векторных измерений (СВИ) обеспечивает возможность проведения «пассивного» эксперимента для верификации параметров расчетных схем замещения СГ. Кроме того, данные СВИ, фиксируемые с высокой дискретностью, могут служить дополнительным индикатором возникшего в ЭЭС переходного процесса. В связи с этим возникает задача классификации режимных данных, получаемых от устройств СВИ (УСВИ) на электростанциях, и выделения признаков конкретных возмущающих воздействий.

Целью данного исследования является разработка и тестирование алгоритма поиска и классификации режимов ЭЭС на основе СВИ. Разработанный алгоритм (рис. 1) реализован на языке *Python*, а его тестирование произведено на реальных данных с УСВИ.

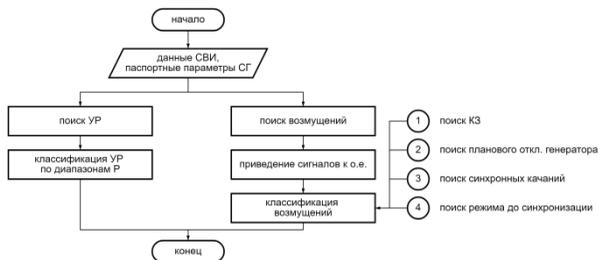


Рис.1. Блок-схема общего процесса поиска и классификации режимов ЭЭС

Результаты алгоритма (выделенные кадры данных СВИ, соответствующие электромеханическим и электромагнитным переходным процессам, а также установившимся режимам) были использованы для верификации модели одного из СГ Калининградской ТЭЦ-2. Таким образом, алгоритм прошел предварительное тестирование и, в перспективе, может применяться для верификации моделей СГ и решения оперативно-диспетчерского управления.

*Д.Д. Частухин, К.А. Подъячий студ.;
А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ МАТЛАБ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКОВ В МОМЕНТЫ КОММУТАЦИИ ЭЛЕГАЗОВЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ ПРИСОЕДИНЕНИЙ

При одностороннем включении воздушных линий (ВЛ) сверхвысокого напряжения в токе, проходящем через выключатель, возникает апериодическая составляющая. Ее амплитуда и коэффициент затухания определяются соотношением эквивалентных активного и реактивного сопротивления и фазой напряжения на контактах выключателя в момент включения. Соотношение $R_{\text{экв}}/X_{\text{экв}}$ зависит от параметров ВЛ, количества включенных ШР, сопротивления системы. Наличие значительной апериодической составляющей в токе выключателя приводит к тому, что переход тока через ноль может случиться лишь через некоторое время после включения. Технические характеристики элегазовых выключателей, таковы, что при попытке разорвать цепь с таким током возможно возникновение длительно не погасающей дуги между контактами и повреждение выключателя. При несимметричном к.з. в неповрежденных фазах амплитуда апериодической составляющей в несколько раз может превышать амплитуду периодического тока установившегося режима. Таким образом, при одностороннем включении ЛЭП (плановом или в цикле ТАПВ) с неустраненным несимметричным к.з., отключение элегазовыми выключателями неповрежденных фаз ВЛ, также может быть затруднено.

Эти проблемы особенно актуальны так как, в настоящее время в России на подстанциях всё большее и большее распространение получают элегазовые выключатели. В статье представлена модель ВЛ 500 кВ, длиной 110 км в программном комплексе МАТЛАБ. В работе выявлены наиболее тяжелые случаи, которые могут представлять опасность для выключателей, коммутирующих линию. Проанализировано как измениться ситуация при перемещении точки кз вдоль ВЛ. Даны рекомендации по устранению этих проблем.

Библиографический список

1. **Евдокимин Г.А.** Электрические системы и сети. – СПб.: изд. Сизова М.П., 2004.

*Е.В. Лапина, студ.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВЫХ НАГРУЗКАХ

Вопросы, связанные с предотвращением гололедных аварий в электрических сетях, актуальны для многих регионов России и других стран. Увеличение протяженности ЛЭП за счет введения в эксплуатацию новых участков, в том числе в гололедоопасных районах, приводит к возрастанию случаев аварийных отключений энергопотребителей в осенне-зимний период.

Интенсивные гололедные нагрузки могут вызывать серьезные нарушения в работе воздушных линий. К их числу относятся пляска проводов, разрушение опор, проводов, перегрузка и поломка траверс, гирлянд изоляторов, арматуры.

Разрушительное влияние гололедообразования не является фатальным. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий происходит с помощью комплексной системы мероприятий по улучшению технического состояния электросетей, к которым относят плавку гололеда на проводах и тросах воздушных линий, установку виброгасителей и гасителей пляски проводов и другие.

В результате выполнения научно-исследовательской работы была проведена оценка надежности воздушной линии 110 кВ Выборг-Южная – Мыс при гололедно-ветровых нагрузках.

Были определены следующие показатели: стрела провеса в пролете при высшей температуре, механические напряжения в проводе ВЛ при различных расчетных условиях и удельных нагрузках, допустимый ток по условию сохранения нормированных габаритов ВЛ, максимально допустимый ток по условию сохранения механической прочности провода и максимально допустимая толщина стенки гололеда.

Проведена оценка полученных показателей и разработаны мероприятия по предотвращению недопустимого напряжения провода ВЛ.

Библиографический список

1. **Левченко И.И.** Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах / И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И. Сацук: учеб. пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006.– 494 с.

И.А. Соколов, А.А. Ховрина, студ.;
рук. Д.Н. Кормилицын, к.т.н., доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЗАВИСИМОСТЬ НАТУРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЭП СВН ОТ УПК РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Сегодня надежная передача электроэнергии на сверхдальние расстояния является необходимым фактором функционирования электроэнергетической системы (ЭЭС) в целом. Данная проблема особо актуальна для энергосистемы России, поскольку она является наиболее крупной в мире с большим количеством протяженных электропередач. Повысить надежность передачи электроэнергии можно, увеличив пропускную способность линий электропередачи (ЛЭП).

В настоящее время, стремление повысить пропускную способность приводит к необходимости придания линиям свойств управляемых или гибких линий, изменяющих параметры в функции режима работы ЭЭС.

Одним из способов создания гибких линий является применение УПК.

Цель данной работы – выявление зависимости влияния типа УПК на режим натуральной мощности электропередачи высокого напряжения.

В работе рассматривалась модель простейшей электроэнергетической системы, состоящей из эквивалентного генератора, работающего на шины бесконечной мощности через двухцепную линию электропередачи 500 кВ.

В ходе исследования получены зависимости натуральной мощности, передаваемой по высоковольтной линии электропередачи, как при вариации степени компенсации УПК, изменении числа и места установки устройств, так и при изменении количества установленных шунтирующих реакторов. Произведена оценка влияния параметров линии электропередачи на режим натуральной мощности.

Полученные результаты работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке квалифицированных кадров для электроэнергетической области, на их основе анализа выбрана тема дальнейших научных исследований.

Библиографический список

1. Ушаков В. Я. Электроэнергетические системы и сети. – М.: Юрайт, 2016.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЗАЩИТНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОТКЛЮЧЕННЫХ ВЛ

Проблема безопасной организации работ на воздушных линиях (ВЛ), находящихся в отключенном состоянии в зоне влияния действующих ВЛ, до сих пор остаётся острой и актуальной.

На практике измерения наведенного напряжения осуществимы лишь в ограниченном количестве точек по длине исследуемых отключенных линий при заданных токовых нагрузках влияющих ВЛ. Однако токи влияющих линий, взятые по модулю, не могут полностью отразить многообразия режимов работы энергосистемы, существенных для оценки наведённого напряжения (например, направления перетоков мощности). Поэтому проведение расчётов величины наведенного напряжения ВЛ с использованием математических моделей является весьма актуальным.

Целью исследования является изучение режимов защитного заземления отключённых ВЛ при различных технологических решениях этого вопроса. **Методом исследования** является математическое моделирование с применением программного комплекса «MATLAB».

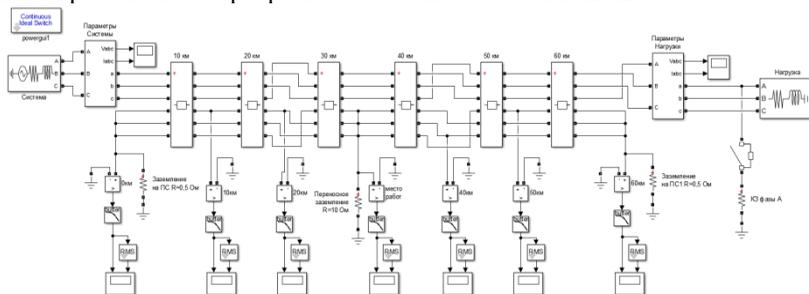


Рис. 1. Математическая модель исследуемой ВЛ

В результате получено, что величины наведенного напряжения в месте производства работ на отключенной ВЛ в различных режимах защитного заземления могут заметно различаться, при этом не всегда в пользу рекомендуемого режима единственного заземления ВЛ, наложенного на рабочем месте.

Е.А. Красиков, студ.;
рук. А.И. Кулешов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА КОМПЕНСАЦИОННЫХ (ЗАМЕЩАЮЩИХ) МЕРОПРИЯТИЙ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ВЫВОД ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2 ФИЛИАЛ ВЛАДИМИРСКОЙ ПАО «Т ПЛЮС» ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В связи с износом генерирующего оборудования Ивановской ТЭЦ-2 Филиал Владимирской ПАО «Т Плюс» собственником было принято решение о выводе генерирующего оборудования из эксплуатации. В данный момент в работе находятся генераторы ТГ-2 и ТГ-3 мощностью 25 МВт и 65 МВт соответственно. ТГ-1 и ТГ-4, мощностью 25 МВт каждый, были выведены в консервацию.

Задачами проведения работы является определение перечня замещающих мероприятий для обеспечения возможности вывода из эксплуатации генерирующего оборудования Ивановской ТЭЦ-2 на основании технико-экономического обоснования.

Вывод генерирующего оборудования суммарной мощностью 90 МВт приводит к дефициту активной мощности энергорайона. В результате этого в аварийных и ремонтных схемах возникает перегрузка оборудования на ПС Ивановская-6. Это приводит к необходимости отключения потребителей. В связи с этим, вывод Ивановской ТЭЦ-2 без компенсационных мероприятий невозможен.

В процессе выполнения работы были исследованы мероприятия, которые необходимо реализовать, для того, чтобы вывести Ивановскую ТЭЦ-2 из эксплуатации. Также была рассчитана приблизительная стоимость данного проекта. Одним из наиболее реализуемых вариантов компенсационных мероприятий является установка на Ивановской ТЭЦ-2 дополнительного трансформатора 110/35 кВ мощностью 63 МВА, для осуществления перетока мощности с шин 110 кВ Ивановской ТЭЦ-3. Также требуется реконструкция подстанции Ивановская-6.

Расчёты для осенне-зимнего максимума, периода экстремально высоких температур и периода среднемесячных температур проводились на перспективных расчётных моделях ОЭС Центра в программном комплексе RastrWin3.

Библиографический список

1. **Методические** указания по устойчивости, 2018. (Приказ МЭ от 03.08.2018 №630) (ред. от 28.12.2020).
2. **Методические** указания по проектированию развития энергосистем (Приказ МЭ от 06.12.2022 N 1286).

Р. М. Юлдашев, студ.;
рук. О. А. Бушueva, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛЬ КОМПАКТНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ РАСЧЕТОВ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Актуальной задачей в области электроэнергетики является создание интеллектуальных электроэнергетических систем, основой которых могут быть компактные управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии электропередачи (УСВЛ), осуществляющие изменение собственных эквивалентных параметров и их режимных характеристик [1].

Основным инструментом, используемым в расчетах установившихся режимов энергосистем, являются их информационные модели, а одним из ключевых факторов, влияющих на точность расчетов, является способ задания параметров УСВЛ.

Целью работы является создание информационной модели УСВЛ для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем с учетом конструкции опоры типа «Чайка» и марки провода 2хАС-300/67.

Отличительной особенностью УСВЛ с конструкцией опоры является попарное сближение фаз для разных цепей, которое приводит к значительному увеличению их электромагнитного влияния, а регулирование угла сдвига между системами векторов напряжений и токов цепей обеспечивает изменение в большом диапазоне эквивалентных параметров и основных характеристик линии: волнового сопротивления, натуральной и зарядной мощностей.

Выполнены расчёты основных эквивалентных параметров двухцепной УСВЛ 220 кВ в программном комплексе Mathcad с учетом влияния фазового сдвига систем напряжений цепей на их значения.

Модель УСВЛ использована в расчетах установившихся режимов электроэнергетических систем.

Библиографический список

1. Постолатий В.М., Быкова Е.В., Сулов В.М. Управляемые компактные линии электропередачи высокого напряжения // Проблемы региональной энергетики, 2016. — №1 (30).

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

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НЕСКОЛЬКИМИ ГЕНЕРИРУЮЩИМИ УЗЛАМИ

Исследование динамических характеристик электроэнергетической системы (ЭЭС) и ее отдельных элементов играет важную роль для обеспечения бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей и предотвращения крупных системных аварий. Корректная алгоритмизация и автоматизация соответствующих расчетов при наличии двух и более вращающихся машин, учитываемых в явном виде, является нетривиальной задачей. В настоящей работе представлено развитие реализованного ранее автоматизированного расчетного алгоритма для анализа динамической устойчивости простейшей ЭЭС, в котором уравнение движения ротора решалось модифицированным методом Эйлера. Рассмотрены более сложные схемы, содержащие два и три источника конечной мощности. В качестве возмущающих воздействий рассматриваются трехфазные короткие замыкания (КЗ) на воздушных линиях электропередачи вблизи шин примыкающих подстанций. При этом рассчитываются взаимные углы роторов генераторов, а также автоматически определяется предельное время существования КЗ. Вычислительные алгоритмы реализованы в виде функций в программном комплексе *MATLAB*, а для верификации используются сценарии, описанные в [1].

Для осуществления итеративных расчетов были автоматизированы следующие основные шаги:

- формирование и редукция матриц узловых проводимостей для нормального, аварийного и послеаварийного режимов;
- решение дифференциального уравнения движения ротора каждого синхронного генератора модифицированным методом Эйлера [1].

Результаты работы создают основу для автоматического определения предельных параметров с точки зрения динамической устойчивости для сложных схемно-режимных ситуаций.

Библиографический список

1. **Hadi Saadat.** Power System Analysis. – New York: WCB/McGraw-Hill, 1999.

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

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИМИТАЦИИ УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) формируют основу Системы мониторинга переходных режимов Единой энергосистемы Российской Федерации. Потенциал УСВИ в части регистрации электромагнитных переходных процессов (ПП) не раскрыт, что обуславливает необходимость соответствующих исследований [1]. Фиксация отклика реального УСВИ на смоделированный электромагнитный ПП (физико-математическое моделирование) не всегда является оптимальным вариантом по следующим причинам:

- необходимость сохранения осциллограмм ПП в специальном формате (например, «COMTRADE»);
- существенные затраты времени при большом количестве воспроизводимых осциллограмм ПП;
- необходимость агрегации данных от УСВИ и их экспорта в требуемый формат для последующей обработки.

В связи с этим возникает задача имитации базового функционала УСВИ на математической модели в том же программном обеспечении (например, «MATLAB»), в котором формируются осциллограммы ПП и выполняется обработка кадров данных СВИ. Таким образом, реализуется «замкнутый цикл» моделирования.

В настоящей работе решена задача по созданию базовых версий моделей УСВИ классов «М» и «Р» согласно международному стандарту IEC/IEEE 60255-118-1, верификация которых выполнена посредством функции УСВИ в составе программно-аппаратного комплекса «Real-time digital simulator» («RTDS»).

Библиографический список

1. **Многофакторный** анализ погрешности методов дистанционного определения места повреждения на основе синхронизированных векторных измерений / А.А. Яблоков, И.Е. Иванов, Ф.А. Куликов, А.Р. Тычкин, А.В. Панащатенко. — Текст: непосредственный // Энергетик, 2022. — № 12. — С. 16–22.

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

СИНХРОНИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО УСЛОВИЯМ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС

Противоаварийное управление генераторами (импульсная разгрузка турбины, электрическое торможение и др.) является эффективным средством обеспечения динамической устойчивости ЭЭС.

В докладе рассмотрена реакция простейшей ЭЭС на управляющее воздействие в виде скачкообразных сброса и восстановления мощности турбины генератора P_T , P_T' , и показана важность выбора момента этого восстановления.

Соотношение площадок торможения и ускорения, а также графики переходных процессов демонстрируют (рис.1), что сохранение синхронизма наблюдается при восстановлении мощности турбины в момент, когда скольжение ротора отсутствует $s=0$, а электромагнитная мощность превышает мощность турбины $P_T' < P$ (случай а). В противном случае не исключён асинхронный режим (случай б).

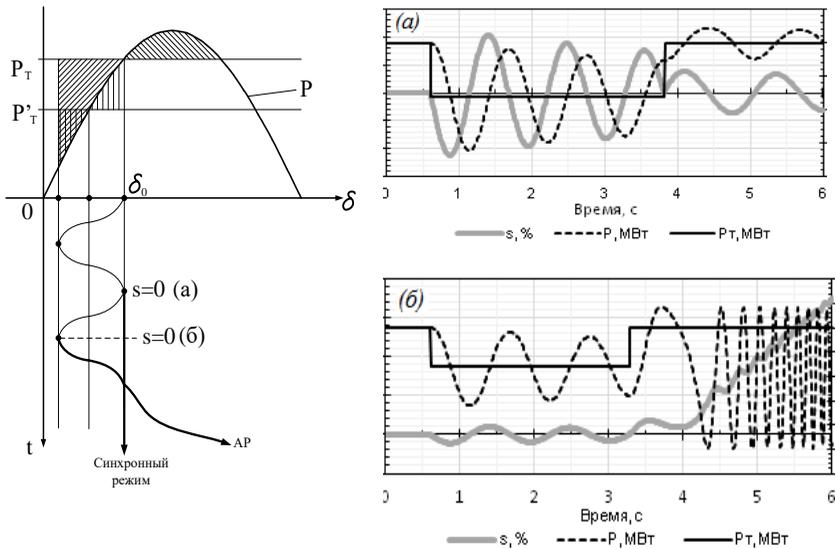


Рис. 1. Динамические переходы при восстановлении мощности турбины в моменты: (а)– при $s=0$ и $P_T' < P$ – устойчиво; (б)– при $s=0$ и $P_T' > P$ – неустойчиво

М.А. Лаптев, студ.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
ИГЭУ, г. Иваново

КОМПАКТНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПАКТНЫХ ЛЭП

В настоящее время актуальным является вопрос о создании электрических сетей на базе современных технических решений как в области конструкций ЛЭП, так и систем управления ими. Такими линиями электропередачи являются компактные управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии электропередачи (УСВЛ), где провода фаз сближены до минимально допустимых расстояний с учетом технических ограничений [1].

Уменьшение расстояния между фазами и создание компактных конфигураций их расположения в одноцепных и многоцепных воздушных линиях позволяет воздействовать на параметры электромагнитного поля в междуфазном и окружающем линию пространстве.

Увеличение натуральной мощности у компактных линий достигается за счёт сокращения междуфазного расстояния, которое становится возможным при исключении металлических конструкций из междуфазного пространства.

Существенным технико-экономическим достоинством компактных воздушных линий является возможность постепенно доводить число проводов в фазах до проектного по мере повышения фактических нагрузок.

Регулирование режимных параметров компактных ВЛ может осуществляться с помощью регулирующих устройств типа FACTS, установленных в отдельных узлах электропередачи.

Произведен анализ характеристик компактных и традиционных ВЛ. Выявлены основные преимущества компактных управляемых линий.

Научные результаты работы могут быть использованы при строительстве новых и реконструкции уже имеющихся воздушных линий электропередачи, а также для развития внутрисистемных и межсистемных высоковольтных связей объединенной энергосистемы.

Библиографический список

1. **Постолатий В.М.** Компактные управляемые самокомпенсирующиеся высоковольтные линии электропередачи переменного тока / В.М. Постолатий. – Кишнев: ин-т энергетики АНМ, 2017. – 732 с.

А.А. Крайкина, студ.;
рук. И.Е. Иванов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ЭЭС ДЛЯ АНАЛИЗА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ И ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Для расчёта режимов продольной и поперечной несимметрии, а также формирования выражений для угловых характеристик при анализе динамической устойчивости, необходимо определить эквивалентные сопротивления относительно точки короткого замыкания (КЗ) или места разрыва фазы. Формализация расчётов токов КЗ и «шунтов» КЗ в отечественной инженерной практике обычно выполняется с использованием матрицы узловых проводимостей $[Y]$, что требует отдельных преобразований для каждого места несимметрии. Применение матрицы узловых сопротивлений $[Z]$ (вместо $[Y]$) позволяет рассчитать множество аварийных режимов фактически без дополнительных вычислений. Алгоритмы «прямого» формирования $[Z]$ описаны в зарубежной литературе [1], однако их реализация не тривиальна.

Основной целью работы является исследование и реализация в программном коде алгоритмов «прямого» формирования матрицы $[Z]$ на основе информации о топологии участка электроэнергетической системы и параметрах схемы замещения. Элементы матрицы $[Z]$ затем используются для расчёта продольных и поперечных «шунтов» несимметрии, а также напряжений во всех узлах схемы. Полученные эквивалентные сопротивления также предполагается применять для анализа динамической устойчивости в программном обеспечении «Mustang». Все реализованные расчётные алгоритмы верифицированы с помощью примеров, представленных в [1] и другой литературе.

Перспективным направлением развития исследований является изучение возможности учёта сложного вида несимметрии с использованием элементов матрицы $[Z]$, что необходимо для анализа динамических переходов при КЗ на воздушных линиях сверхвысокого напряжения.

Библиографический список

1. **Grainger J.J., Stevenson W.D., Chang G.W.** Power System Analysis. — New York: McGraw-Hill Education, 2016.

А.Д. Сорокина, студ.;
рук. И.Е. Иванов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС С АВТОМАТИЗАЦИЕЙ РАСЧЕТНЫХ АЛГОРИТМОВ

Обеспечение статической устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) является важнейшей задачей при планировании развития ЭЭС и управлении электроэнергетическим режимом. Минимальные коэффициенты запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности должны удовлетворять критериям, регламентируемым отраслевым стандартом [1], что обуславливает необходимость определения предельных перетоков мощности путем утяжеления режима. Для сложной схемы ЭЭС достижение режима, предельного с точки зрения аperiodической устойчивости, может осуществляться по контролю сходимости итерационного процесса методом Ньютона. Однако для анализа устойчивости простейшей ЭЭС это не требуется. Кроме того, при наличии одной синхронной машины, учитываемой в явном виде, возможно выполнить полноценное исследование устойчивости с учетом самораскачивания.

Целью работы является формирование расчетной модели для анализа статической устойчивости простейшей ЭЭС, в которой синхронный генератор (СГ) оснащен автоматикой регулирования возбуждения (АРВ) сильного действия. *Основными задачами работы* являются: 1) создание и реализация на языке «MATLAB» алгоритма, позволяющего автоматически находить предел аperiodической статической устойчивости с учётом ограничения возбуждения СГ и статизма АРВ; 2) автоматическое нахождение предела статической устойчивости с учётом самораскачивания на основе анализа системы уравнений первого приближения при утяжелении режима.

Первичная верификация сформированных расчётных алгоритмов выполнена на базе программы «SSST», разработанной в ИГЭУ. Результаты работы создают основу для исследования более сложных схем ЭЭС и траекторий утяжеления.

Библиографический список

1. **Методические** указания по устойчивости энергосистем. Утверждены приказом Минэнерго России от 03.08.2018 г. № 630. – Москва, 2018.

С.Г. Смирнова, В.Ю. Чистякова, студ.;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ УЧЁТА ВЗАИМОИНДУКЦИИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ РАСЧЕТАХ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ

При расчетах электрических величин аварийных режимов электроэнергетических систем, например, при коротких замыканиях (КЗ) на землю в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью, необходимо учитывать наличие взаимоиנדукции между находящимися в «коридоре» линиями электропередачи (ЛЭП) одного и/или разных классов напряжения. При этом условия необходимости учета взаимоиנדукции регламентируются различными отраслевыми нормативными документами или стандартами организаций.

В настоящее время повышаются требования к точности определения токов КЗ (уменьшению погрешности расчетов) для обеспечения эффективности функционирования устройств релейной защиты (особенно выполненных на микропроцессорной элементной базе), выбора оборудования подстанций и др.

Целями исследований являются изучение влияния взаимоиנדукции между линиями на величину токов КЗ в зависимости от вида КЗ, класса напряжения, типа преобладающих опор, наличия и особенностей заземления грозотросов, марки проводов, длин ЛЭП, длин и расположения «коридоров» по трассе ЛЭП, расстояния между линиями в «коридоре» и др.

Анализ результатов проведенных исследований с использованием специализированных программных комплексов показал, что выявлена необходимость скорректировать существующие требования к величине расстояния между осями ЛЭП для учета взаимоиנדукции между воздушными линиями и воздушными участками кабельно-воздушных ЛЭП напряжением 110 кВ и выше при моделировании участков электрической сети в целях уменьшения погрешностей расчета значений электрических величин аварийного режима.

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

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН ПЕРЕХОДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС

Большая электромагнитная инерция обмотки возбуждения (ОВ) синхронной машины (СМ) позволяет представлять её в упрощенных математических моделях неизменной переходной ЭДС \dot{E}' , определяемой потокоцеплением Ψ_f ОВ, при всех динамических переходах режима ЭЭС (программы «Мустанг», RUSTAB и др.). Однако лишь составляющая E'_q этой ЭДС связана с Ψ_f соотношением:

$$E'_q = \omega \cdot \frac{X_{ad}}{X_f} \cdot \Psi_f.$$

В докладе на примере простейшей ЭЭС оценена погрешность от замены E'_q на E' в расчетах динамической устойчивости при КЗ и его отключении. Методом площадей установлены углы предельного отключения КЗ: $\delta'_{пр} = 103,5^\circ$ при моделировании с $E' = const$ и $\delta_{пр} = 121^\circ$ при моделировании с $E'_q = const$. Интегрирование уравнения движения ротора показало (рис. 1) совпадение времен предельного отключения по обоим моделям: $t_{пр} = 0,38$ с. с погрешностью до 2%.

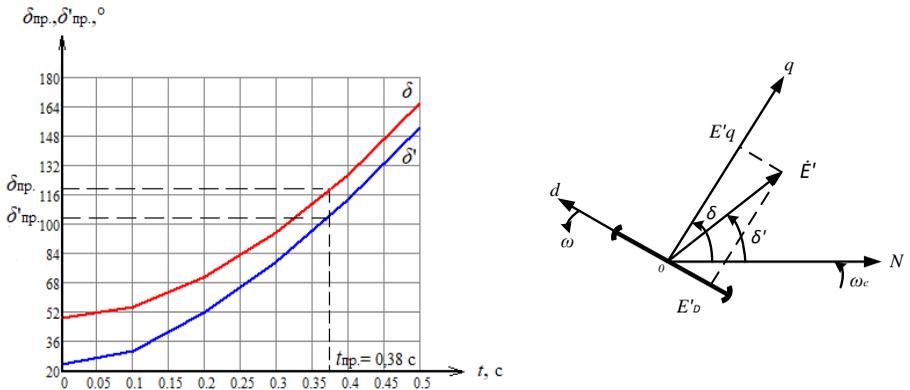


Рис. 1. Решение уравнения движения ротора при $E' = const$ и $E'_q = const$

СЕКЦИЯ 14
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

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

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

*Р.А. Добренский, студ.;
рук. Д.А. Ребровская
(УлГТУ, г. Ульяновск)*

ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ ПРИНЯТОГО ДОПУЩЕНИЯ В ИЗВЕСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ

Наиболее эффективным средством снижения потерь мощности в электрических сетях является компенсация реактивной мощности (КРМ) в сетях потребителей. Чтобы заинтересовать потребителя в установке компенсирующих устройств (КУ), необходим простой и доступный инструмент, который позволит определить инвестору доходную часть проекта установки КУ.

На данный момент существует математическая модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при КРМ в сети потребителя [1]. Оценим корректность, принятого в известной модели допущения, связанного с размещением нагрузок в одном узле эквивалентной схемы. При перемещении нагрузки из одного узла в другой, изменяются потоки мощности в ветвях схемы. Это влияет на результат вычисления величины снижения потерь.

Эффект снижения потерь в результате КРМ в конце ЛЭП удаленного от источника питания в каждой i – той ветви можно оценить коэффициентом снижения потерь. Приведенный коэффициент снижения потерь в ЛЭП от источника до исследуемого потребителя определяется следующим выражением $k_{прив} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \Delta P_i^*}{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^*}$ и учитывает изменение потерь с учетом всех нагрузок, сосредоточенных в узлах схемы питания исследуемого потребителя, представленной на схеме замещения [1] ветвью 3.

Применение приведенного коэффициента $k_{прив}$ приводит к появлению нового эквивалентного коэффициента мощности $tg\phi_{3,ЭКВ}$, который определяет величину реактивной мощности в ветви после КРМ. Арифметическая разность между расчетами по известной и новой модели позволяет оценить корректность принятого допущения в известной математической модели.

Библиографический список

1. Кузнецов А.В. Программная модель оценки снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя / А.В. Кузнецов, И.В. Аргентова, Д.А. Ребровская // Промышленная энергетика, 2016. №6. – С. 48-54.

*А.А. Митяев, маг.;
рук. С.А. Курганов, д.т.н., доц.
(УлГТУ, г. Ульяновск)*

ЧИСЛЕННО-СИМВОЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ТОКОВ ИСТОЧНИКОВ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Определить токи источников гармоник можно методом оценки гармонического состояния, который состоит в построении и решении численных матричных уравнений линейной модели в режиме мониторинга, что требует больших временных затрат [1].

Целью работы является нахождение в виде численно-символьных функций, сокращающих временные затраты при многократных расчетах. Задача решается методом схемных определителей, позволяющим получить компактные символьные выражения токов и напряжений [2].

Построение численно-символьных функций. Исходными данными являются линейная схема замещения трехфазной сети с сосредоточенными параметрами и синхронно измеренные комплексные напряжения гармоник в узлах присоединения нагрузок, представленных комплексными проводимостями. По теореме о компенсации к узлам схемы подключаются источники электродвижущей силы (ЭДС) величиной, равной измеренным напряжениям. Токи источников ЭДС – искомые токи – находятся в виде отношения пары схемных определителей (СО). При разложении СО сопротивления линий представляются в численном, а проводимости нагрузок и напряжения узлов – в символьном виде. Так, автором получена численно-символьная функция тока узла k

$$\underline{I}_k = \sum_{i=1, i \neq k}^n A_i \underline{U}_i + (B_k + Y_k) \underline{U}_k, \quad (1)$$

где n – число узлов сети; $\underline{U}_i, \underline{U}_k$ – напряжения в узлах i, k ; A_i, B_k – численные коэффициенты; Y_k – проводимость нагрузки в k -ом узле.

Численно-символьные функции (1) уменьшают временные затраты при расчете токов гармоник по сравнению с численными методами.

Библиографический список

1. Yang R., Yu M., Tai N., Duan R., Lu C. Harmonic source localization method for the port distribution system based on the stagewise regularized orthogonal matching pursuit algorithm // [Frontiers in Energy Research](#). – Vol. 11, 2023. – Pp.1–9.
2. Filaretov V. V., Gorshkov K. S., Kurganov S. A., Nedorezov M.V. Generalized Parameter Extraction Method for Symbolic Analysis of Analog Circuits Containing Pathological Elements. – Lect. Notes Electrical Eng, 2018, vol. 479. – Pp. 31–70.

Шувалова Ю.Н., студ.;
Шалухо А.В., Липузин И.А. к.т.н., доц.,
Бедретдинов Р.Ш., к.т.н., доц.
 (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИСТЕКОВОМ НА ОСНОВЕ ВОДОРОД- ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Топливные элементы (ТЭ) рассматриваются в качестве наиболее перспективных источников электроэнергии [1]. Использование нескольких стеков ТЭ в едином энергокомплексе (мультистек) позволяет повысить эффективность, срок службы и надежность подобных систем. Создание алгоритмов управления мультистеками, учитывающих особенности ТЭ и характер потребления электроэнергии, является актуальной задачей.

В НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведены исследования работы мультистека на общую нагрузку и разработан алгоритм управления системой, обеспечивающий наибольшую эффективность производства электроэнергии (рис. 1).

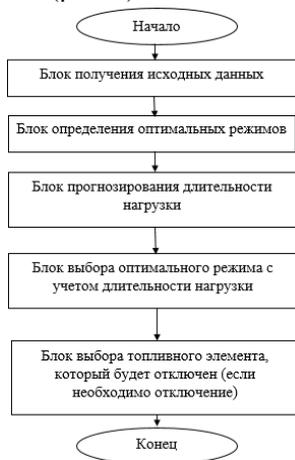


Рис. 1. Алгоритм управления мультистеком

Исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема №FSWE-2022-0005).

Библиографический список

1. **Р.Ш. Бедретдинов.** Экономическая оценка эффективности применения гибридного энергетического комплекса на основе водорода // Интеллектуальная электротехника, 2021. №4. – С. 47-58.

Я.И. Петухов, студ.; Е.В. Крюков, к.т.н., доц.;
рук. А.А. Кралин, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Н. Новгород)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ ПОПЛАВКОЙ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Переход к децентрализованной энергетике является одним из современных трендов отрасли [1]. Применение установок распределенной генерации, в том числе на основе возобновляемых источников энергии, позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей, а также уменьшить электрические потери. Одним из таких источников является энергия морских волн, обладающая высокой удельной плотностью.

Авторами разработана структура поплавковой волновой электростанции (ПВЭС), которая приведена на рис. 1.

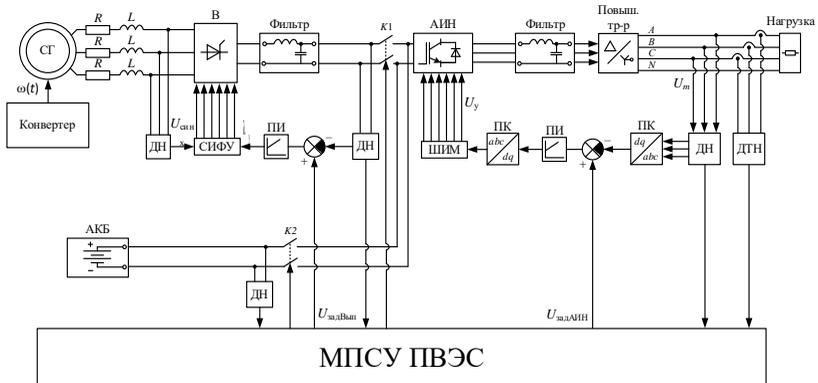


Рис. 1. Структурная схема поплавковой волновой электростанции

В программном комплексе *Matlab Simulink* разработана имитационная модель ПВЭС. Проведено исследование электромагнитных процессов и электромагнитной совместимости основных узлов установки и нагрузки. Для оценки качества электрической энергии произведен спектральный анализ напряжения на нагрузке. Проведенные исследования подтвердили работоспособность предложенной структуры.

Исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема №FSWE-2022-0005).

Библиографический список

1. **Энергетическая** стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.20 г. № 1523-р).

О.В. Адаев, маг.;
рук. Ю.П. Юренков, ст. препод.
(УлГТУ, г. Ульяновск)

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ СРАБАТЫВАНИЯ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ПРИНЦИПОМ ТОКООГРАНИЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДВУХ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Токи короткого замыкания (КЗ) в системах электроснабжения низкого напряжения могут достигать значения гораздо большего, чем допустимое значение для проводников и кабелей, и больше, чем значение номинального тока отключения для электрических аппаратов, тем самым появляется возможность применять токоограничивающие устройства. Одним из таких устройств является, ограничитель тока на основе жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей (ЖСП), у таких предохранителей есть недостаток, небольшой коммутационный ресурс.

Предлагается применять два ЖСП, для создания двухступенчатого токоограничивающего устройств с жидкометаллическими предохранителями [1]. Для такого устройства была предложена математическая модель.

Программная модель была создана на языке программирования JavaScript объемом 251 КБ, что позволяет использовать эту программную модель на любом устройстве с минимальными системными требованиями. Интерфейс программы сделан в виде веб-страницы с использованием языков HTML и CSS. Данная программа позволяет вычислять параметры для двух ЖСП: преддуговой интеграл Джоуля, полный интеграл Джоуля, энергию электрической дуги. Позволяет делать визуализацию функции тока короткого замыкания от времени. Это необходимо для правильного параметрического синтеза ограничителя тока с двухступенчатым принципом ограничения.

Исследования математической модели на основе программной модели показывает уменьшение теплового интеграла в ЖСП1 на 30% по сравнению с обычным жидкометаллическим устройством ограничения тока. Это означает увеличение коммутационного ресурса ЖСП.

Библиографический список

1. Патент № 2713641 С1 Российская Федерация, МПК H02N 3/08, H02N 9/02. Токоограничивающее устройство: № 2019124807: заявл. 02.08.2019: опубл. 05.02.2020 / А. В. Кузнецов, Ю. П. Юренков; заявитель федеральное госуд. бюджет. образоват. учреждение высш. образов. "Ульяновский государственный технический университет". – EDN DCQHСJ.

Д.А. Гусев, студ.;
рук. Р.Ш. Бедретдинов, Е.В. Крюков, к.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Одна из ключевых задач Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года – развитие и распространение прорывных технологий в области внедрения распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Для повышения эффективности функционирования разнотипных ВИЭ между собой в электрической сети с многосторонним питанием необходимо применение устройств сопряжения и устройств перераспределения потоков мощности. Оптимальное распределение потоков мощности возможно за счёт применения тиристорного регулятора мощности (ТРМ) [2]. С помощью ТРМ возможно регулировать фазу и величину выходного напряжения, что, в свою очередь, даёт возможность изменять направление и величину потоков активной и реактивной мощности.

Обоснование применения ТРМ в качестве устройств потокораспределения требует решения ряда задач. Необходимы:

- разработка алгоритмов оптимального управления потоков мощности в электрической сети с ВИЭ;
- проведение имитационного, физического и экспериментального моделирования ТРМ в электрической сети с ВИЭ;
- исследование влияния ТРМ на показатели качества электроэнергии.

Исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема №FSWE-2022-0005).

Библиографический список

1. **Энергетическая** стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Распоряжение №1523-р (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года). – М., 2020. – 93 с.
2. **Соснина Е.Н., Крюков Е.В., Гусев Д.А.** Интеллектуальный регулятор потока мощности для активно-адаптивной электрической сети // Фёдоровские чтения — 2022: ЛП Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, с элементами научной школы для молодежи, Москва, 2022. – М.: изд. дом МЭИ, 2022. – С. 224-233.

*В.В. Еременко, асп.; Р.Ш. Бедретдинов, к.т.н.
рук. Е.Н. Соснина, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексева, Н. Новгород)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС

В стратегии развития ядерной энергетики России [1] одной из поставленных задач является модернизация атомных электростанций (АЭС), направленная на повышение их экономичности и безопасности. Функционирование АЭС в нормальном и аварийном режимах обеспечивается системой собственных нужд (СН), потребляющей до 10 % вырабатываемой электроэнергии. Внедрение управляемых трансформаторов 10/0,4 кВ с тиристорным регулятором напряжения (ТТРН) [2] в систему электропитания (СЭС) СН АЭС позволит поддерживать оптимальный режим работы электроприемников, чувствительных к низкому качеству электроэнергии, повысить энергоэффективность СН и безопасность АЭС в целом.

Модернизация СЭС СН рассмотрена на примере обессоливающих установок, обеспечивающих водно-химический режим (ВХР) АЭС. Отклонение напряжения в часы максимальных нагрузок приводит к износу установок электродеионизации, дополнительным электрическим потерям и может стать причиной нарушения ВХР, что влияет на ресурс оборудования, эффективность и безопасность работы АЭС в целом [3]. Применение ТТРН вместо трансформаторов с ПБВ позволит снизить отклонения, колебания и несимметрию напряжения в сети 0,4 кВ, обеспечив работу обессоливающих установок в оптимальном режиме.

Технико-экономическая оценка внедрения ТТРН при модернизации СЭС здания обессоливающей установки показала эффективность предлагаемого решения.

Библиографический список

1. **Стратегия** развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года. – М.: Госкорпорация Росатом, 2018. – 62 с.
2. **Пат.** 2552842 РФ: МПК Н 02 В 7/00. Цифровая трансформаторная подстанция / А.Б. Лоскутов, Е.Н. Соснина, А.И. Чивенков и др.; заявитель и патентообладатель – Нижегород. гос. техн. ун – т им. Р. Е. Алексева. – № 2013146200/07; заявл. 17.10.2013; опубл. 10.06.2015.
3. **Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л., Дубинин А.М.** Повышение энергоэффективности АЭС: изв. высш.учебн. заведений. Ядерная энергетика, 2015. – № 4. – С. 15–25.

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЗКИ ЭНЕРГООБЪЕКТА ВЛАДИМИРСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Для устойчивой работы энергосистемы требуется провести расчеты максимально допустимых перетоков (МДП) активной мощности в контролируемых сечениях. При расчетах создаются математические модели нагрузки, описывающие реальные объекты исследования.

Наиболее полно нагрузка моделируется статическими характеристиками по напряжению $P(U)$ и $Q(U)$ [1].

Целью работы является определение статических характеристик нагрузки по напряжению подстанции 110 кВ Санино Владимирской энергосистемы и использование математической модели нагрузки для оценки ее влияния на величину МДП в контролируемом сечении 110 кВ Стачка – Санино.

Для получения статических характеристик нагрузки по напряжению использованы результаты пассивного эксперимента на энергообъекте – ПС 110 кВ Санино.

Получены коэффициенты квадратичных полиномов, отражающие зависимости активной и реактивной мощности в узле нагрузки от величины напряжения, подводимому к шинам 110 кВ ПС Санино.

Математическая модель нагрузки использована в расчетах МДП в контролируемом сечении 110 кВ Стачка – Санино для соблюдения нормативных требований к устойчивой работе Владимирской энергосистемы при управлении электроэнергетическим режимом.

Расчеты проведены с применением специализированного программного комплекса «RastrWin3». Обработка результатов экспериментов произведена с использованием программного комплекса Microsoft Excel.

Полученные результаты использованы в создании информационной модели Владимирской 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 Иванов. гос. энергет. ун-та, 2014. – №6. – С. 22-30.

*Ж. В. Куаку, студ.;
рук. О. А. Бушужева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ КОТ- Д'ИВУАР

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

В настоящее время развитие возобновляемых энергоресурсов является целью будущего энергетического сектора. Республика планирует производить не менее 42% электроэнергии от возобновляемых источников и достичь 400 МВт генерирующей мощности от солнечной энергии [1].

Целью работы является анализ ресурсов солнечной энергии в республике и разработка проекта сетевой фотоэлектрической станции для электроснабжения потребителей.

Проведенный анализ потенциала солнечных ресурсов показал, что районы с доступным потенциалом 5,25 кВт·ч / м² и продолжительностью солнечного сияния более 3000 ч в год, в основном, находятся в северном регионе республики, где развито сельское хозяйство.

Проведены расчеты суточного потребления электроэнергии потребителями района города Корого, выбран тип фотоэлектрической станции, разработана ее структурная схема и выбрана мощность, которая составила 713 кВт.

Произведен выбор основных элементов фотоэлектрической станции: фотоэлектрических модулей (панелей), инвертора, аккумулятора.

Результаты работы планируется использовать в проектной практике электроснабжения потребителей и в выпускной квалификационной работе магистра.

Библиографический список

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

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

РЕЖИМЫ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Распределительные сети с появлением в них источников малой генерации приобретают черты основной сети, то есть в них возникает ряд проблем, в том числе и проблемы устойчивости [1].

Актуальность исследований устойчивости совместной работы собственной генерации с энергосистемой обусловлена режимами работы генераторов малых ТЭЦ и возникновением различных аварийных ситуаций (короткое замыкание, отключение генераторов и др.).

Объектом исследования является система электроснабжения района города с объектом малой генерации – мини ТЭЦ с установкой шести генераторов единичной мощностью 1750 кВт на напряжении 10,5 кВ.

Целью исследования является анализ влияния малой ТЭЦ на режимы и устойчивость системы электроснабжения.

Создана модель системы электроснабжения и проведены расчеты статической и динамической устойчивости с использованием специализированного программного комплекса.

Установлены пределы передаваемой мощности в электрическую сеть 10 кВ, определены коэффициенты запаса статической устойчивости.

Проведен анализ результатов расчета динамической устойчивости при коротком замыкании на линии связи 10 кВ объекта малой генерации с подстанцией энергосистемы с учетом изменения конфигурации схемы электроснабжения района города.

Результаты исследования могут быть использованы в проектных расчетах и в эксплуатации систем электроснабжения с распределенной генерацией.

Библиографический список

1. **Методические** указания по устойчивости энергосистем. – М.: изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. (утв. приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. №277).

*С. С. Приходцев, 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 для промышленных предприятий [1].

Внимание к этой теме вызвано необходимостью энергосбережения, в первую очередь, снижения потерь электроэнергии.

Целью работы является комплексный анализ существующей системы электроснабжения конкретного промышленного предприятия и разработка мероприятий по повышению ее эффективности.

Разработана модель существующей системы электроснабжения и проведены расчеты установившихся режимов с применением специализированного программного комплекса EnergyCS Режим.

Выполнен анализ величины потерь электроэнергии в схеме электроснабжения.

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

Проведены расчеты по оценке экономической эффективности предложенных мероприятий по энергосбережению.

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.

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

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 кВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОКРЫТИЯ ПИКОВ НАГРУЗКИ

Основной задачей данной работы является выявление сегментов, где применение систем накопления электрической энергии (далее - СНЭ) может быть окупаемым и привлекательным для инвестирования без повышения конечной цены для потребителя в среднесрочной (1-5 лет) и долгосрочной (5-10 лет) перспективе.

Целью работы является применение СНЭ в режиме пиковых нагрузок на протяженных фидерах 0,4 кВ для поддержания качества электроэнергии и снижения потерь.

Проведён анализ реализованных проектов систем накопления электроэнергии. Выполнен обзор актуальных областей применения накопителей энергии в энергосистемах разного типа. Показано, что многие актуальные задачи выбора состава оборудования, организации структуры, ведения режимов, устойчивости и надёжности энергосистем с помощью накопителей энергии могут быть решены. Как пример рассмотрена модернизация ВЛ 0,4 кВ №2 ТП 980 ПС 10/0,4 кВ Западная с установкой накопителя электрической энергии, филиала «Белгородэнерго».

Проведены расчеты по оценке эффективности поддержания качества электроэнергии, покрытия пиков нагрузки и экономической эффективности предложенных мероприятий внедрения СНЭ.

Результаты работы планируется использовать в выпускной квалификационной работе магистра. Они также могут быть использованы, как при реконструкции существующих объектов, так и при проектировании новых.

Библиографический список

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

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

РАСЧЁТ ДОЗЫ ФЛИКЕРА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С ДУГОВЫМИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫМИ ПЕЧАМИ

На промышленных предприятиях широко используются дуговые сталеплавильные печи (ДСП), являющиеся мощными приёмниками электрической энергии с резкопеременной нагрузкой. Это приводит к появлению колебаний напряжения большой амплитуды и частоты в системах электроснабжения.

В соответствии с ГОСТ 32144-2013, для показателей кратковременной и длительной дозы фликера установлены предельно допустимые значения. Фактические значения кратковременной и длительной дозы фликера могут быть определены непосредственно фликерметром или рассчитаны аналитически с применением специального программного обеспечения.

Цель работы заключалась в разработке имитационной модели ДСП в программном комплексе «MATLAB Simulink» для последующего расчета дозы фликера в системе электроснабжения предприятия. Для моделирования работы печи использована вольт-амперная характеристика электрической дуги. Сформированный массив значений напряжения в точке подключения ДСП передается в расчетный блок, который имитирует работу фликерметра. После статистической обработки данных на выходе блока формируется фактическое значение кратковременной и длительной дозы фликера.

Результаты могут иметь практическое значение не только для предприятий, на которых установлены ДСП, но и для других электроэнергетических объектов, поскольку модель для расчета дозы фликера является универсальной и в качестве исходных данных для неё выступает массив напряжений в исследуемом узле.

Библиографический список

1. **Карташев И.И.** Управление качеством электроэнергии: учеб. пособ. / Карташев И.И. – М.: изд. дом МЭИ, 2019.
2. **Новоселов, Н. А.** Анализ показателей качества электроэнергии при проектировании систем электроснабжения дуговых сталеплавильных печей малой мощности / Н.А. Новоселов, А.А. Николаев, Г.П. Корнилов – Магнитогорск: Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2017.

*Е.А. Баканова, студ.;
рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

С развитием электрооборудования на промышленных предприятиях увеличилось внедрение электроприемников с нелинейными вольтамперными характеристиками. В связи с этим необходимо предусматривать и оценить мероприятия по нормализации режимов электрических сетей, питающих электроприёмники, работа которых неблагоприятно влияет на качество электроэнергии.

В работе рассматривается система электроснабжения цеха вращающихся печей промышленного предприятия. В цехе имеется две трансформаторные подстанции мощностью 1000 кВА, к каждой из которых подключены электрическая печь сопротивления, вращающаяся (барабанная) печь, мощностью 150 кВт и пассивная нагрузка.

Для осуществления всех этапов обжига, требующих поддержания заданной температуры с высокой точностью, необходимо осуществлять плавное регулирование электрической мощности нагревателей ЭПС [1]. Для соблюдения таких высоких требований к шинам подстанции подключается тиристорный регулятор напряжения. В результате работы тиристорных ЭПС потребляет несинусоидальный ток и искажается форма кривой напряжения.

Для оценки уровня несинусоидальности напряжения рассчитывается такой ПКЭ, как коэффициента несинусоидальности напряжения $K_{нс}$. В результате расчетов получено, что $K_{нс}$ может достигать 9%, что превышает нормально допустимое значение 8%.

В работе рассматривается два способа уменьшения несинусоидальности напряжения:

- подбор параметров фильтрокомпенсирующего устройства ($X_C = 1,075 \text{ Ом}$; $X_L = 8.887 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$), в результате чего удается снизить $K_{нс}$ до 3%;
- регулирование угла отпирания тиристорных, в результате чего угол отпирания, при котором $K_{нс} = 6,7\%$, равен $\alpha = 15,5^\circ$.

Библиографический список

1. **В.М. Яров** Источники питания электрических печей сопротивления: учеб. пособ., 1982. – 122с.

*А.А.Пучкова, маг.,
рук. А.Е. Аржанникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ РАЗНЫХ КЛАССОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Одним из ключевых мероприятий Программы инновационного развития на 2021-2025 годы ПАО Россети является «энергоэффективность и снижение потерь», например, за счет применения новых технологий и материалов в электроэнергетике, в том числе обладающих сверхпроводимостью». Основные потери в распределительной сети – это потери в трансформаторах, снижение которых возможно, в том числе, за счет применения магнитопроводов из аморфной стали.

Проведен анализ годовых технологических потерь электроэнергии по реальным графикам мощности потребительских ТП Ивэнерго при использовании трансформаторов типов ТМ, ТМГ, ТМГ-12 и ТМГА.

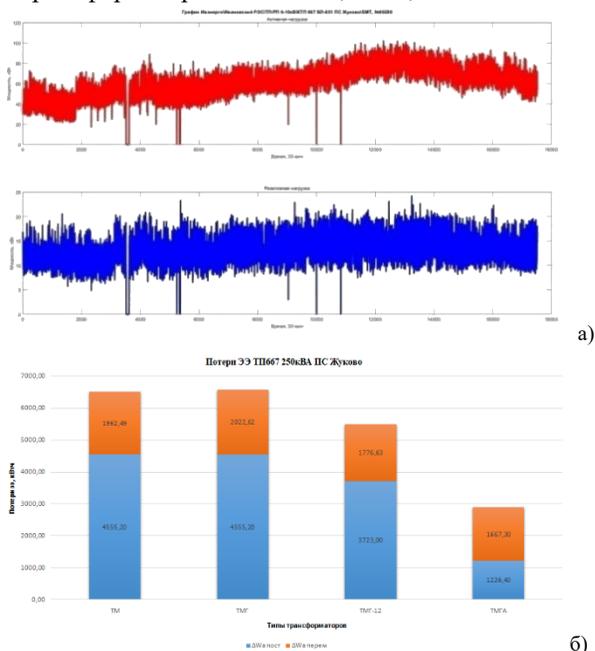


Рис. 1. Годовой график нагрузки (а) и потери электроэнергии (б) в ТП с трансформатором номинальной мощностью 250кВА

*И.А. Сидорычев, студ.;
рук. А.А. Шульпин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Среди важнейших проблем современности, поставленных наукой и практикой особое место, занимает проблема энергосбережения.

В данной публикации рассмотрена актуальность задачи снижения потерь электроэнергии (ЭЭ) в электрических сетях энергетических объектов (ЭО). Показана значимость учета ЭЭ и влияния потерь ЭЭ как в экономической сфере, так и в топливно-ресурсной.

Рассмотрена структура потерь ЭЭ: фактические, технологические, коммерческие, технические потери, потери, вызванные погрешностью систем учета, нагрузочные и условно-постоянные.

На основе анализа структуры потерь ЭЭ выбраны наиболее перспективные варианты повышения эффективности использования ЭЭ, а именно: 1) замена существующих силовых трансформаторов (СТ) на современные энергосберегающие, а также оптимизация работы СТ, поскольку в электрических сетях находится большое количество СТ отработавших свои сроки службы, а также СТ имеющие низкие или высокие (выше номинального) коэффициенты загрузки; 2) внедрение и модернизация автоматизированных систем учета ЭЭ позволяющих оперативно вести учет ЭЭ как у Потребителей, так и в электрических сетях, что позволяет составлять электробалансы, как по статьям расхода ЭЭ, так и по структурным подразделениям ЭО, выявлять участки с нерациональным расходом ЭЭ, оценивать уровни потерь ЭЭ, а также оперативно пресекать хищение ЭЭ.

Для минимизации потерь в силовых трансформаторах рассмотрены конструкционные методы снижения потерь ЭЭ, методы оптимизации работы силовых трансформаторов.

Одним из наиболее эффективных способов повышения эффективности использования ЭЭ является внедрения автоматизированных систем учета ЭЭ. Рассмотрены актуальность и обоснованность внедрения автоматизированных систем учета ЭЭ в повышении эффективности учета ЭЭ, основные принципы организации, структурные схемы, технические и программные обеспечения, особенности использования различных каналов связи, требования к измерительным комплексам учета ЭЭ для различных ЭО.

СЕКЦИЯ 15

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

Секретарь – к.т.н., доцент **Кутумов Ю.Д.**

*К.С. Алёшин, асп., А.А. Сёмушкин, инж.
(АО «РАДИУС Автоматика»);
рук. Т.Ю. Шадрикова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6-10 кВ

Применение централизованных устройств защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в кабельных сетях 6–10 кВ, основанных на применении принципа относительного замера токов нулевой последовательности или их составляющих, позволяет уменьшить удельные (на присоединение) расходы на выполнение защиты от данного вида повреждений, выбор уставок и эксплуатацию. Наиболее универсальное решение для компенсированных и некомпенсированных кабельных сетей 6–10 кВ может быть получено на основе сочетания в централизованной защите от ОЗЗ (ЦЗЗЗ) способов определения поврежденного присоединения, основанных на использовании как составляющих установившегося режима замыкания, так и переходных процессов.

Основные принципы универсальной ЦЗЗЗ:

1. Применение для определения поврежденного присоединения двух способов: относительного замера значений токов $3i_0$ при устойчивых и дуговых ОЗЗ и импульсной направленной защиты на основе переходных процессов для действия при всех видах замыканий (устойчивых, дуговых, кратковременных самоустраняющихся).

2. Применение мультичастотного метода, основанного на использовании для действия защиты в установившемся и переходных режимах ОЗЗ суммы составляющих основной частоты и высших гармоник (ВГ) в некомпенсированных сетях и суммы ВГ в компенсированных сетях.

3. Блокировка действия алгоритма относительного замера токов в момент гашения заземляющей дуги и ОЗЗ на шинах.

Результаты функциональных испытаний ЦЗЗЗ на имитационной модели защиты и кабельной сети 6 кВ подтвердили высокое техническое совершенство разработанных алгоритмов функционирования универсальной централизованной защиты от ОЗЗ в компенсированных и некомпенсированных кабельных сетях 6-10 кВ при всех видах замыканий на землю.

Разработанные принципы выполнения и алгоритмы функционирования централизованной защиты от ОЗЗ позволяют получить универсальное решение для компенсированных и некомпенсированных кабельных сетей 6-10 кВ.

*К.С. Алёшин, асп.; А.А.Сёмушкин, инж.
АО «РАДИУС Автоматика»;
рук. В.А.Шуин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АЛГОРИТМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

В 80-90-е годы для защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в кабельных сетях 6–10 кВ получили применение централизованные направленные устройства сигнализации ОЗЗ (ЦУСЗ) на основе переходных процессов, выполненные на микроэлектронной базе (например, разработанное в ИГЭУ ЦУСЗ «Импульс» [1]). Основным недостатком ЦУСЗ, реагирующих на броски переходного тока при ОЗЗ, является отсутствие непрерывности действия при устойчивых замыканиях. Поэтому в современных микропроцессорных исполнениях ЦУСЗ в качестве основного алгоритма применяется алгоритм относительного замера значений токов в присоединениях защищаемого объекта, обеспечивающий селективное определение поврежденного присоединения как при устойчивых ОЗЗ, так и при замыканиях через перемежающуюся дугу. Дополнение основного алгоритма алгоритмом импульсной направленной защиты позволяет повысить селективность и надежность функционирования ЦУСЗ за счет фиксации кратковременных самоустраниющихся ОЗЗ (КрОЗЗ), что особенно актуально в компенсированных кабельных сетях, резервирования основного алгоритма относительного замера токов и его блокировки при ОЗЗ на шинах. Такой комбинированный подход использован при разработке нового исполнения ЦУСЗ в АО «РАДИУС Автоматика».

Функциональные испытания алгоритма централизованной импульсной направленной защиты выполнялись на специально разработанной имитационной модели в программном комплексе MATLAB, учитывающей основные особенности кабельных сетей 6–10 кВ промышленного и городского электроснабжения. Результаты вычислительных экспериментов на модели подтвердили достаточное техническое совершенство разработанного алгоритма централизованной импульсной направленной защиты от ОЗЗ.

Разработанный комбинированный алгоритм ЦУСЗ обеспечивает эффективное определение поврежденного присоединения при всех видах ОЗЗ, включая КрОЗЗ.

Библиографический список

1. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ // Энергетик. – 2001. – 104 с.

*А.Е. Евдаков, рук. отдела ООО «АПС»;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рост цифровизации энергосистемы привёл к увеличению объёма данных, требующих обработки. Так для компаний производящих устройства РЗА и осуществляющих их наладку, встают вопросы анализа большого объёма осциллограмм, поступающих от производства и составления документации на их основе. Использование же строгих алгоритмов классификации приводит к невозможности описания всех интересующих аномалий.

Классификацию событий в электроэнергетической системе можно выполнять при помощи методов интеллектуального анализа данных, основанных на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС активно развиваются и позволяют создавать гибкую систему, подстраивающуюся под данные.

Наиболее важным этапом в разработке методов классификации событий на основе ИНС является формирование репрезентативной обучающей выборки. В контексте классификации событий в электроэнергетической системе под репрезентативностью исходных данных следует понимать наличие достаточного количества разнообразных обучающих примеров, отражающих правила и закономерности, которые должны быть обнаружены моделью нейронной сети в процессе обучения. Формирование репрезентативной обучающей выборки имеет следующие сложности: многообразие исследуемых режимов, наложение событий, отсутствие строгих критериев классификации, и т.д.

На основании анализа множества осциллограмм, зафиксированных МП УРЗА авторами предлагается разделять события на следующие группы:

1. Нормальный режим работы – события, происходящее при различных рабочих коммутациях в электроэнергетической системе.

2. Аномалия – это множество отклонений от нормального режима работы, которые не приводят к срабатываниям устройств РЗА или аварийным отключениям.

3. Авария – это множество отклонений, являющихся развитием аномального режима и приводящие к срабатываниям устройств РЗА, или являющихся следствием их некорректной работы и способные привести к аварийным отключениям.

Предложен метод классификации событий, происходящих в энергосистеме, при подготовке обучающей выборки для ИНС.

Д.С. Шарыгин, асп.;
рук. Г.А. Филатова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В АЛГОРИТМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Одним из основных факторов, влияющих на точность одностороннего алгоритма определения места повреждения (ОМП) по параметрам аварийного режима (ПАР), является переходное сопротивление в месте повреждения. Сложность учета влияния состоит в том, что в случае использования одностороннего алгоритма по мгновенным значениям токов и напряжений момент перехода тока в месте замера не совпадает с моментом перехода действительного тока короткого замыкания (КЗ) в месте повреждения, что вносит значительную погрешность.

Для учета влияния переходного сопротивления предлагается производить итерационное моделирование участка сети. В результате формируются массивы данных для различных удаленностей КЗ и переходных сопротивлений: массив корректировок погрешностей и массив среднеквадратичных значений напряжения поврежденной фазы. В случае возникновения КЗ на линии предварительно производится оценка ОМП без компенсации. На основе полученных массивов данных определяется величина корректировки ОМП.

Предлагаемый подход позволяет значительно повысить точность одностороннего алгоритма ОМП по ПАР на мгновенных значениях (рис. 1). На основе 30 тысяч моделируемых ситуаций по методу Монте-Карло односторонний алгоритм находится в пределах допустимых значений относительных погрешностей в более чем 80 % случаев, половина из которых определяет место повреждения с погрешностью 0,5 %.

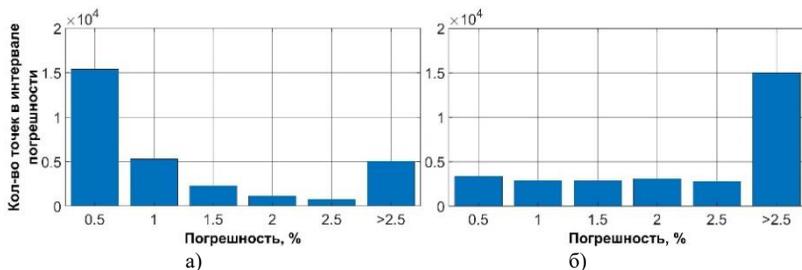


Рис.1. Погрешности одностороннего ОМП по методу Монте-Карло
 а) с компенсацией переходного сопротивления; б) без компенсации переходного сопротивления

А.В. Слузова, асп.;
рук. А.Л. Куликов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Н. Новгород)

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОГО УЧАСТКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Определение места повреждения (ОМП) на ЛЭП является одной из важнейших эксплуатационных задач. Установленные в соответствии в ПАО «Россети» требования [1] для формирования зоны обхода воздушных ЛЭП по показаниям устройств ОМП, определяют зону обхода на основе процентного соотношения в зависимости от длины линии. При этом расчетные алгоритмы не учитывают, например, насыщение трансформаторов тока, отклонение показателей качества электроэнергии и др. При значительных ошибках ОМП фактическое место повреждения может оказаться за пределами установленной зоны. Предлагается процедуру ОМП реализовать в два этапа: предварительный расчет расстояния без учета искажающих факторов и формирование расширенной зоны обхода ЛЭП с учетом возможных ошибок; разбиение зоны обхода на участки малой длины и реализация алгоритмов распознавания поврежденного участка ЛЭП. Перспективна разработка таких алгоритмов распознавания, которые обеспечивают точность ОМП в соответствии с требованиями эксплуатационной практики, когда размер распознаваемого участка не превышает длину одного пролета воздушной ЛЭП.

Для формирования рационального решающего правила при ОМП необходимо ввести показатели эффективности: вероятностные, экономические и информационные. Вероятностные критерии могут задаваться матрицей условных вероятностей для нескольких гипотез, каждая из которых соответствует своему поврежденному участку в пределах зоны обхода ЛЭП. Экономические критерии предлагается формировать в виде матрицы стоимостей ошибок ОМП, а информационные критерии целесообразно связывать с возможностями алгоритмов распознавания и цифровой обработки сигналов по извлечению информации из осциллограмм аварийных токов и напряжений для снижения неопределенности при принятии решения.

Исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема №FSWE-2022-0005).

Библиографический список

1. ПАО «ФСК ЕЭС» Стандарт организации: СТО 56947007-29.240.55.159-2013 «Типовая инструкция по организации работ для определения мест повреждений воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше», дата введения: 28.11.2013.

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Технология синхронизированных векторных измерений (СВИ) [1], успешно используемая в системе мониторинга переходных режимов (СМНР), имеет перспективы применения в системах измерения параметров электрической энергии, релейной защиты, автоматики и управления. Исследования, выполненные в работе [2], подтвердили возможность применения СВИ для решения задачи дистанционного определения места повреждения (ДОМП) на линиях сверхвысокого напряжения. Практическое применение технологии СВИ для ДОМП требует решения ряда задач: исследование и выбор группы методов ДОМП, которые могут эффективно использоваться со СВИ; разработка алгоритмов выбора методов ДОМП, обеспечивающих наименьшую погрешность, для конкретной линии электропередачи; разработка методов выбора, группировки и усреднения кадров данных СВИ в зависимости от длительности короткого замыкания; разработка программного обеспечения для устройств СВИ (УСВИ) и концентраторов векторных данных (КСВД); проработка вопросов подключения УСВИ к обмоткам трансформаторов тока класса «Р» и др.

Доклад посвящен исследованию и анализу вариантов решения перечисленных выше задач практического применения технологии СВИ для ДОМП.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00122, <https://rscf.ru/project/21-79-00122/>

Библиографический список

1. **International** standard IEC/IEEE 60255-118-1 “Measuring relays and protection equipment”, Part 118-1: Synchrophasor for power systems [Стандарт], 2018.
2. **Многофакторный** анализ погрешности методов дистанционного определения места повреждения на основе синхронизированных векторных измерений / А.А. Яблоков, И.Е. Иванов, Ф.А. Куликов, А.Р. Тычкин, А.В. Панашатенко. Текст: непосредственный // Энергетик, 2022. — № 12. — С. 16–22.

Д.Г. Григорьев, асп.;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА RTDS И УСИЛИТЕЛЯ PONOVO ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

При разработке датчиков тока и напряжения важным является исследование их частотных характеристик. В качестве источника, задающего значения первичного тока и напряжения, может выступать программно-аппаратный комплекс RTDS NovaCor с программой RSCAD и усилителем токов и напряжений Ponovo PAV5000. В технических характеристиках [1, 2] заявлены следующие параметры: предельная частота усилителя – 50 кГц для малых сигналов постоянного тока ($< 0,5$ В) и 5 кГц для остальных сигналов постоянного тока; шаг расчёта RTDS – до 1мкс. В опытной эксплуатации удалось добиться минимального шага на RTDS в 10 мкс (расчёт схемы с частотой 100 кГц).

Задача проверки работоспособности связки RTDS и Ponovo PAV5000 на высоких частотах осуществлялась при нагрузке в виде 100 витков провода ПВ-1 0,75мм и прецизионного измерительного шунта. Эксперименты показали, что на частотах до 5 кГц амплитуда тока на схеме управления в RSCAD и на тыльной панели Ponovo совпадают. Дальнейшее увеличение частоты приводит к небольшому подъёму, а затем резкому снижению АЧХ усилителя. На частотах выше 25 кГц наблюдались искажения формы токов, если частота не делила 100 кГц нацело. Подобный случай на частоте 35 кГц изображён на рис. 1.

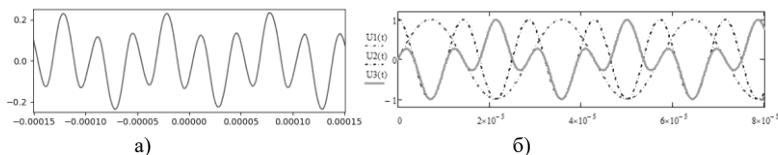


Рис. 1. Измеренный сигнал (а) и смоделированный (б)

На рис. 1,б два штрих-пунктирных сигнала имеют частоту 35 и 70 кГц и разницу в фазе 90° . Их перемножение (сплошной сигнал) даёт схожее поведение с графиком 1,а. Следовательно, усилитель способен выдавать сигналы частотой 5-10 кГц и низковольтные сигналы частотой 10-25 кГц. Более высокие частоты вызывают искажения формы сигнала, а так же имеют крайне низкие токи относительно номинальных.

Библиографический список

1. **PAV3000&PAV5000** 4-Quadrant Power Amplifier Brochure. URL: <https://www.ponovo.net/Content/upload/pdf/202227817/PAV5000-BROCHURE.pdf?md=771> (дата доступа 29.03.2023).
2. **RTDS** Technologies NovaCor. URL: <https://www.rtds.com/wp-content/uploads/2019/08/NovaCor.pdf> (дата доступа 29.03.2023).

Д.Г. Григорьев, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНОСТИ УСИЛИТЕЛЯ НА ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛА, ПРОИЗВОДИМОЕ С ПОМОЩЬЮ КАТУШКИ РОГОВСКОГО

Известно, что катушка Роговского, используемая в цифровом трансформаторе тока и напряжения, по принципу действия измеряет не непосредственное значение первичного тока, а его производную. Присутствие производной вызывает следующий эффект – высокочастотные сигналы влияют на выходной сигнал сильнее, чем низкочастотные. Это объясняется следующим образом:

$$i(t) = I_{\text{ампл}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \Rightarrow \frac{\partial i(t)}{\partial t} = \omega I_{\text{ампл}} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi). \quad (1)$$

Как можно увидеть из формулы (1), производная больше непосредственного значения в ω раз, где ω – угловая частота сигнала. Следовательно, присутствие даже небольшого по амплитуде высокочастотного сигнала в низкочастотном основном сигнале сильно повлияет на выходной сигнал, снимаемый с катушки Роговского. Этот эффект наблюдался в одном из опытов, изображённом на рис. 1.

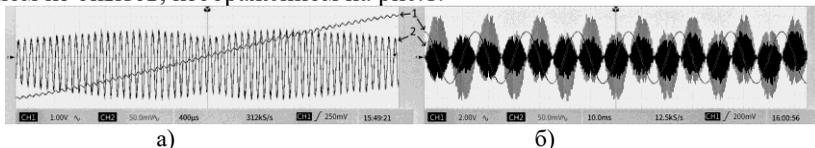


Рис. 1. Измеренный на малом (а) и на большом (б) временном шаге сигнал (1 – первичный ток, 2 – сигнал с катушки Роговского)

Первичный ток выдавался с системы, состоящей из усилителя PonoVO PAV5000 [1] и управляющего усилителем комплекса RTDS [2]. Предварительно считалось, что усилитель выдаёт аналоговый или сглаженный сигнал. Как выяснилось, сигнал является ступенчатым. В нашем случае появились синусоидальные колебания с частотой 100 кГц. Основной сигнал имел частоту 50 Гц, следовательно угловые частоты различаются в 2000 раз, что и обусловило такое сильное влияние небольшой по амплитуде высокочастотной составляющей на выходной сигнал. Таким образом, следует учитывать подобное поведение усилителя и, возможно, устанавливать фильтр в силовую часть схемы.

Библиографический список

1. PAV3000&PAV5000 4-Quadrant Power Amplifier Brochure. URL: <https://www.ponovo.net/Content/upload/pdf/202227817/PAV5000-BROCHURE.pdf?md=771> (дата доступа 29.03.2023).
2. RTDS Technologies NovaCor. URL: <https://www.rtds.com/wp-content/uploads/2019/08/NovaCor.pdf> (дата доступа 29.03.2023).

И.А. Петров, студ.;
рук. А.А. Лоскутов, к.т.н., доц.
(НГТУ, г. Н. Новгород)

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ КОММУТАТОРОВ С ПОДДЕРЖКОЙ СТАНДАРТА МЭК 61850 НА БАЗЕ ПАК RTDS

В настоящее время огромную популярность набирает тенденция цифровизации. Цифровые технологии повсеместно применяются в различных отраслях промышленности. Сфера электроэнергетики не является исключением. Наглядным примером являются цифровые подстанции (ЦПС).

Построение цифровой подстанции требует организации локальной вычислительной сети, основным элементом которой являются коммутаторы.

В настоящее время существует большой выбор как отечественных, так и зарубежных коммутаторов. Для обеспечения надлежащего качества электроснабжения данные устройства должны строго соответствовать требованиям, представленным СТО ПАО «Россети» [1]. Следует отметить тенденцию усложнения сетевого оборудования, что в свою очередь требует применение более современных устройств для проведения испытаний.

Одним из таких устройств является ПАК *RTDS*. Данный симулятор позволяет оценить основные характеристики коммутаторов и сделать вывод о возможности/невозможности применения данного устройства на ЦПС. Структурная схема испытательной установки, основанной на базе ПАК *RTDS*, представлена на рис. 1.

Исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема №*FSWE-2022-0005*).

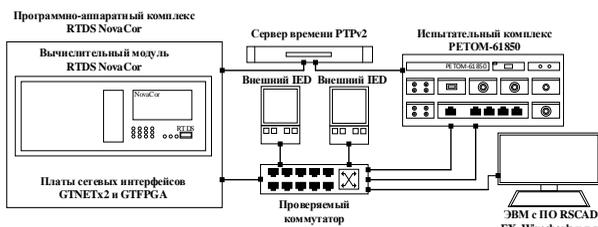


Рис. 1. Структура испытательной установки

Библиографический список

1. СТО 34.01-6-005-2019. Коммутаторы энергообъектов. Общие технические характеристики. Введ.26.04.2019. М.: ПАО «Россети», 2019. 25 с.

Е.М. Тихов, студ., А.В. Панащатенко, асп.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Электромагнитные трансформаторы тока (ТТ) наиболее часто применяются на электроэнергетических объектах по сравнению с другими видами измерительных преобразователей. Достоинствами этого вида первичных преобразователей являются большой опыт эксплуатации, высокая точность измерения в нормальных режимах работы электроэнергетического объекта, простота и надежность, стабильность метрологических характеристик в широком диапазоне температур. Один из главных недостатков электромагнитных ТТ – возможность насыщения их магнитопроводов апериодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ). Насыщение ТТ может приводить к замедлению действия релейной защиты при КЗ в защищаемой зоне или ложному срабатыванию дифференциальных защит при внешних КЗ. Избежать неправильного действия релейной защиты возможно при помощи использования различных блокировок, свидетельствующих о насыщении ТТ, или применяя алгоритмы восстановления формы вторичного тока ТТ. Однако, данные мероприятия не всегда оказываются эффективными и могут приводить к развитию аварийной ситуации. Выбор ТТ на основе сравнения времени до насыщения ТТ с требуемым устройствами РЗ временем точного преобразования тока позволяет обеспечить правильную работу РЗ при КЗ с апериодической составляющей. Указанный критерий является достаточным, но не необходимым для правильной работы РЗ. Устройства релейной защиты могут правильно функционировать и при насыщении ТТ. По мнению авторов для определения корректности функционирования РЗ необходимо использовать величины допустимых погрешностей преобразования тока в режиме насыщения ТТ.

В докладе будут представлены разработанные имитационные модели ТТ, позволяющие оценивать их метрологические характеристики для дальнейшей оценки корректности функционирования устройств релейной защиты и автоматики.

*П.В. Ширяева, студ.;
рук. С.Ю. Тюрина, к.ф.н., доц.,
О.В. Фролова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

REVIEW ON INNOVATIONS IN THE PROTECTION OF TRANSMISSION LINES

The charging current in a transmission line is caused by a pure capacitance effect. The current affects the operation of relay protection and automation of transmission lines under external close-in faults. It is necessary to improve the existing types of such devices to reduce the influence of charging current. Thus, the issue of transmission line protection is topical. In this regard, I have studied two articles devoted to this issue.

The paper [1] presents a new UHV/EHV current-based protection scheme. Instead of summation of the two-end currents, it uses the ratio of phasor summation of the two-end currents to the local end current to discriminate the internal faults. The authors claim that the effectiveness and accuracy of the proposed protection technique are tested on the 110 kV Western System Coordinating Council system using MATLAB. The simulation results confirm independence of the proposed scheme from fault location, fault resistance and variations in source impedance and its reliable operation during external faults.

In long transmission lines the charging current caused by the shunt capacitance decreases the accuracy in impedance-based fault location. To improve the accuracy of fault location, the paper [2] presents a novel scheme, where two Digital Fault Recorders (DFRs) are installed in a line. The transient data of the faults to both ends of a line can be sent by DFRs. Impedance-based fault location methods are applied with transient fault data of both ends protection relays to estimate the distance of a fault. A laboratory setup has been developed to evaluate the proposed scheme. It is said in the paper that several faults have been simulated. Associated voltages and currents are injected to a relay IED to compare experimental results.

Thus, my study has shown that engineers develop methods of reducing the influence of capacitive current on the operation of protections and automation of power transmission lines. Recent developments provide new facility for power system functions.

References

1. **Gangolu** and Sarangi Protection and Control of Modern Power Systems (2020) 5:23 <https://doi.org/10.1186/s41601-020-00168-6>.
2. **Roostaee** et al. Protection and Control of Modern Power Systems (2017) 2:16 DOI 10.1186/s41601-017-0048-y.

*К.И. Наумов, студ.;
рук. С.Ю. Тюрина, к.ф.н., доц.,
О.В. Фролова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

REVIEW ON DEVELOPMENTS IN THE AUTOMATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS

The electric distribution system (EDS) is subject to faults leading to power interruptions. One of these faults is a single-phase grounding fault. The modern energy market demands that electricity utilities invest more in various measures to improve the operation of distribution networks. It is necessary to improve fault location system and allocation of auto-reclosers. Thus, the issue of EDS automation is topical. In this regard, I have studied two articles devoted to this issue.

The paper [1] presents a novel fault section locating method based on distance matching degree in distribution network. A single-phase grounding fault location is affected by the transition resistance and neutral grounding mode of the system. To eliminate the influence of the above factors a new method is proposed. It is based on an intelligent distance algorithm and an amplitude characteristic. A distance algorithm, which is introduced by the authors, analyzes and compares the amplitude features of the zero-sequence current transient components at both ends of the healthy and faulty sections. The matching degree of the characteristics are used as the benchmark. The faulty section is effectively determined by comparing with the set threshold.

The paper [2] presents the approach, which is based on reliability and efficiency enhancement of a radial distribution system through value-based auto-recloser placement and network remodeling. In the first phase, the optimal allocation of auto-reclosers (AR) is undertaken by employing a specific algorithm. The determination of the total number and location for a replacement is based on the economic analysis of two factors. The impact of power outages on different load types and the load growth rate is also taken into account. In the second phase, the technique of Radial Distribution System Remodelling is employed. The authors claim that this method searches for a radial configuration that delivers power at minimum line losses.

Thus, my study has shown that engineers are developing new devices to increase the reliability of the power supply system. This issue is of great scientific importance.

References

1. **Zhenxing** Li, Jialing Wan, Pengfei Wang, Hanli Weng and Zhenhua Li. Protection and Control of Modern Power Systems (2021) 6:20 <https://doi.org/10.1186/s41601-021-00194-y>.
2. Ghosh et al. Protection and Control of Modern Power Systems (2023) 8:1 <https://doi.org/10.1186/s41601-022-00274-7>.

*Смирнов А.А., студ.;
рук. А.А. Фомичёв, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

В настоящее время в энергетике существует тенденция к дальнейшему увеличению доли возобновляемых источников электроэнергии, то есть переход от централизованной к распределенной генерации, которая характеризуется широким диапазоном значение токов короткого замыкания.

Максимальная токовая защита получила широкое распространение в сетях 6-10 кВ. Основные проблемы, возникающие при ее работе – обеспечение чувствительности в зонах дальнего резервирования (необходимо обеспечить коэффициент чувствительности не менее 1,2). Также следует отметить, что параметр срабатывания по току МТЗ выбирается из условия отстройки от режима самозапуска электродвигателей, который зависит от тока нормального режима. Для решения проблем с МТЗ в настоящее время активно ведутся разработки новой адаптивной защиты.

В адаптивной системе защиты происходит автоматическое обновление параметров срабатывания защиты при переходе из режима подключения к централизованной системе электроснабжения в автономный режим, а также при изменении параметров работы сети.

Параллельная работа с сетью или автономный режим, изменение структуры сети альтернативными соединениями и подключение новых нагрузок или источников генерации являются факторами, влияющими на параметры сети и, соответственно, работу защиты.

В проведенных исследованиях в среде Simulink была смоделирована кабельная сеть 6 кВ, в которой существует проблема с чувствительностью в зонах дальнего резервирования.

В результате применения адаптивной защиты были получены следующие результаты: при изменении нагрузки или конфигурации сети (отключениях объектов), уставка пересчитывается в соответствии с новыми параметрами; чувствительность в основных зонах обеспечивается; чувствительность за трансформатором обеспечить не удалось; чувствительность за кабелем обеспечивается в определенных режимах.

Таким образом, адаптивная МТЗ в заданных условиях имеет характеристики не хуже традиционной, а в некоторых случаях даже и лучшие.

*Л. Р. Романов, асп.
(ООО «ТСН-электро», г. Н. Новгород)*

РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–35 КВ

Внедрение интеллектуальных устройств и других цифровых технологий в распределительные электрические сети 6–35 кВ, а также в электроэнергетику в целом, является основой для появления более эффективных систем управления различных объектов электроэнергетики. Например, успешное освоение богатейших ресурсами территорий Крайнего Севера и Арктики не представляется возможным без оборудования, обладающего высоким уровнем автоматизации с возможностями превентивного прогнозирования своего состояния, способного работать в сложных климатических и малолюдных условиях.

Тем не менее возможность повсеместного применения новейших технологий должно быть тщательно проработано, так как бесконтрольное внедрение различных современных и перспективных технологий может привести к существенному снижению надежности электрических сетей.

В докладе рассмотрено влияние на устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) внедрения активно-адаптивных сетей, появления источников собственной генерации у различных энергетических объектов и промышленных предприятий (ПП). Таким образом, появление источников распределенной генерации в особенности усложняет ведение режимов в электрической сети, в связи с увеличением количества возможных электрических режимов.

Все вышеперечисленное будет оказывать негативное влияние на эффективность работы устройств РЗА. Снижение чувствительности и быстродействия различных защит может привести к нарушениям селективности, тем самым еще больше снижая надежность работы электрической сети. Ухудшение эффективности устройств РЗА происходит из-за того, что алгоритмы действия защит принципиальной остаются практически неизменными с середины XX века, что в свою очередь является ограничивающим фактором для использования всех преимуществ цифровых технологий при построении систем релейной защиты.

В докладе описаны способы совершенствования токовых защит в распределительных сетях при помощи использования информационного подхода. Предложен алгоритм многомерной токовой защиты, основанный на статистических принципах.

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

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА НА ПС 110 КВ

Для увеличения надежности электроснабжения промышленных предприятий с электроприемниками 1-ой категории используются схемы с несколькими источниками питания и устройством автоматического ввода резерва (АВР) или быстродействующим БАВР [1-2]. В данной работе анализируется возможность использования БАВР на ПС 110 кВ ГПП-5. При повреждениях на стороне 10 кВ в зоне защиты первого трансформатора 63 МВА работа БАВР целесообразна, если время перерыва в питании тиристорных электроприводов позволит сохранить их в работе. При возникновении короткого замыкания на отходящей линии предлагается моментально отключить секционный выключатель и включить тиристорный коммутатор БАВР для повышения напряжения на неповрежденной секции

Длительность провала напряжения на неповрежденной секции складывается из времени работы устройства выявления повреждения на смежной секции, времени отключения секционного выключателя и времени включения БАВР:

$$\tau = T_{\text{ОМП}} + T_{\text{СВ}} + T_{\text{БАВР}}, \quad (1)$$

где τ – длительность провала напряжения; $T_{\text{ОМП}}$ – время работы устройства выявления повреждений; $T_{\text{БАВР}}$ – время срабатывания БАВР.

Для обоснования такого решения необходимо выяснить, будут ли работать тиристорные преобразователи и электроприводы при падении напряжения на неповрежденной секции.

Применение БАВР на ПС 110 кВ ГПП-5 поможет уменьшить время переключения между источниками питания и повысить надежность электроснабжения.

Библиографический список

1. **Алексеев, М. В.** Решения по автоматическому вводу резерва // Научные вестн. – 2022. – № 2(43). – С. 179-205.
2. **Федоров, М. М.** Использование устройств БАВР для обеспечения гарантированного питания электроприемников промышленных предприятий // Радиотехника, электротехника и энергетика: Двадцать третья международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Москва, 02–03 марта 2017 г. Т.3. – М.: изд. дом МЭИ, 2017. – С. 368.

К.Р. Крайнов, студ.;
рук. А.Г. Сорокин, к.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)

КЛАССИФИКАЦИЯ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ПРИ- КЛАДНЫХ ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящее время, разработка, управление и эксплуатация объектов электроэнергетики - процессы, которые связаны с использованием мощного аппарата вычислительной математики и различных видов вычислительной техники, таких как программно-вычислительные комплексы (ПВК). Современные энергосистемы являются сложными объектами с разнообразными обратными связями и факторами взаимодействия. Поэтому решение вопросов, связанных с проектированием, управлением и эксплуатацией электроэнергетических объектов немислимо без использования ПВК.

Некоторые из классификаций ПВК, которые используются в электроэнергетике, включают:

1. ДАКАР – предназначен для расчета и анализа нормальных, предельных и послеаварийных режимов работы электрических сетей напряжением 0,4 ÷ 1150 кВ, электромеханических переходных процессов электроэнергетических систем с учетом устройств автоматики и реакции теплосилового оборудования электрических станций.

2. ТКЗ-3000 – может рассчитать электрические величины в трехфазной симметричной по параметрам сети любого класса напряжения при однократной продольной или поперечной несимметрии, а также уставки и чувствительность ступенчатых токовых направленных защит нулевой последовательности.

3. АРМ СРЗА – позволяет создавать математическую модель электрической сети с неограниченным объемом узлов и связей. Модель может быть представленной в графическом и табличном виде, а также экспортирована в программы, такие как CorelDRAW, AutoCAD.

4. КОСМОС – разработана для оперативных расчетов режимов энергосистем на основе телеметрической информации. Программа используется для настройки систем противоаварийного и режимного управления, и обладает общей специализированной базой данных и единой сервисной средой [1].

Библиографический список

1. Казакул А.А. Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике: метод. указания для самостоят. работы студ. /Казакул А.А. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2013, – 88 с.

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

РАЗРАБОТКА КОРПУСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОЧКИ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Разработка 3D моделей в сфере электроэнергетики становится все более перспективным направлением ввиду значительной экономической эффективности и гибкости настройки параметров конечного продукта.

В данной работе рассматривается процесс разработки и проектирования корпуса автоматизированной точки коммерческого учета электроэнергии (АТКУЭ) 6(10) кВ в программном продукте SolidWorks (рис. 1). При моделировании применяется модульный принцип построения, расширяющий практические возможности модификации готового решения [1]. АТКУЭ размещается на проводах ВЛ неинвазивным способом с использованием в качестве датчиков тока размыкаемых катушек Роговского [2].

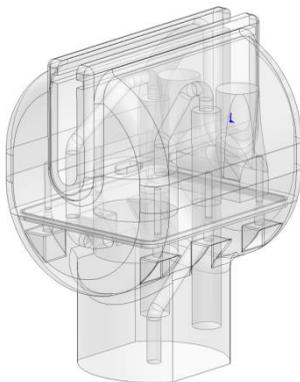


Рис. 1 Прототип корпуса АТКУЭ

Библиографический список

1. Лисов А.В., Антонов А.Н. К вопросу изучения опор воздушных линий электропередачи / XV международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2020»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 5 – Иваново: ФГБОУ ВО «Иван. гос. энергетический ун-т им. В.И. Ленина», 2020. – 119 с., – 105 с..
2. Лебедев В.Д., Нечаев Е.В., Шелудько М.В., Яблоков А.А. Исследование характеристик и оптимизация параметров датчика тока цифрового измерительного трансформатора тока / XII международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2017»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 3 – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2017. – с. 125-126.

СЕКЦИЯ 16

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

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

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

А.А. Тяпин, асп.;
рук. В.И. Пантелеев, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)

ДВУХФАЗНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Для изготовления алюминиевой катанки применяют индукторы из нескольких секций, трехфазного, двухфазного или однофазного исполнения [1]. Двухфазный индукционный комплекс (ИК) с $S = 95$ кВА показан на рис. 1, а. Гибкого управления ИК, достигают трехфазным преобразователем частоты (ПЧ), рис. 1, б. Симметрирование по фазам без изменения конфигурации IGBT-ПЧ, выполняют по схеме рис. 2.

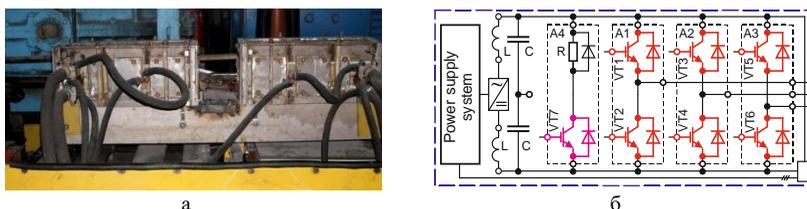


Рис. 1. Двухфазный ИК средней частоты и схема силового звена трехфазного ПЧ

Альтернативой симметрированию, служит модификация трехфазного ПЧ в двухфазный (1 - 2 кГц), с радикальным изменением силового звена, а также систем управления и защиты. Целесообразность каждого из решений обосновывают технико-экономическими расчетами.

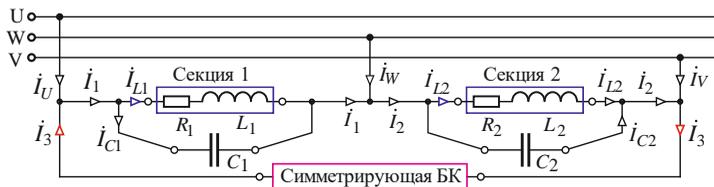


Рис. 2. Схема двухфазного ИК с симметрирующей батареей конденсаторов

Особенностью симметрирования является применение дискретно-управляемых, симметрирующих C - или L -элементов. Наиболее простое решение [2] получают с батареей конденсаторов (БК) под управлением промышленного контроллера. Для БК удается реализовать алгоритм оптимизации режима электропитания индукционного комплекса, с динамическим поддержанием симметрии по фазам ПЧ.

Библиографический список

1. Пат. 2256304 РФ, МПК7 N 05 В 6/06. Головенко Е. А., Кинев Е. С. Индукционная установка сквозного нагрева мерных заготовок. Оpubл. 27.12.04, Бюл. № 19. – 3 с.
2. Баркан, Я.Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. – М.: Энергия, 1978. – 112 с.

*Н.М. Монгуш, студ.;
рук. Е.С.Кинев, к.т.н., доц.
(СФУ, г. Красноярск)*

МГД-НАСОС ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ

Для перекачивания жидкого алюминия применяют вакуумную технологию или насосы-дозаторы [1]. Использование трехфазных насосов более эффективно, особенно для поперечного поля [2]. Предлагаемое устройство 2, МГД-насос, возле миксера 1, показано на рис. 1.

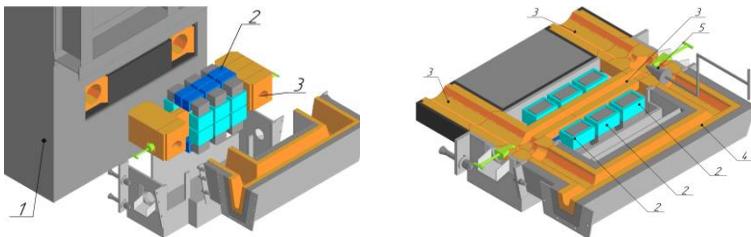


Рис. 1. Модульный МГД-насос, дозатор расплава алюминия у разливочного миксера

Поперечное поле пронизывает канал 3 с металлом, охваченный тремя сердечниками с обмотками (рис. 1, 2). Результат моделирования магнитного поля, силы тяги в канале в среде Ansys приведен на рис. 2.

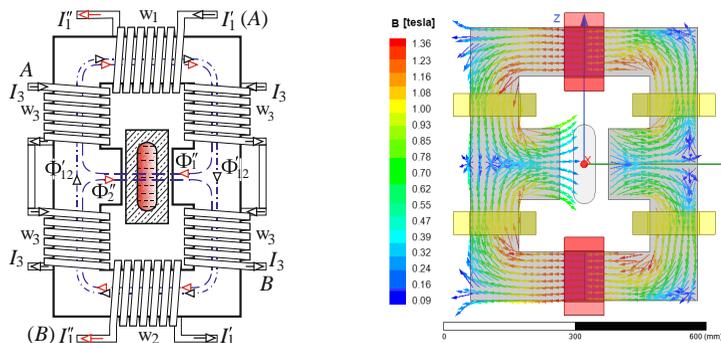


Рис. 2. Магнитопровод фазы МГД-насоса и результаты численного моделирования

Численным экспериментом доказана эффективность устройства.

Библиографический список

1. **Кинев Е.С.**, Тярпин А.А., Golovenko E.A., Avdulov A.A., Efimov S.N. Universal MHD Device For Automation Of Casting Control Of Aluminum. In the collection of articles: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. –Krasnoyarsk, Russia, 2020. – pp. 32019.

2. **Кинев Е.С., Тярпин А.А., Пантелеев В.И.** Сравнение энергетической эффективности трехфазных линейных индукционных машин поперечного и продольного поля. Энергобезопасность и энергосбережение, №5, 2021 –С. 23-36. ISSN: 2071-2219.

К.А. Лётин, В.В. Сизов студ.;
рук. Г.В. Чекан, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электрические сети систем электроснабжения используют различные сочетания линий электропередачи, электрооборудования и, что особенно важно – трансформаторных подстанций различных классов напряжения.

Проблема износа оборудования в электроэнергетике всегда была актуальна. В нашей стране она обусловлена тем, что новое электрооборудование внедряется в недостаточных объемах, а его износ определяет высокий риск возникновения крупных аварий, подобных той, которая произошла в Москве в 2005 году.

Значительная доля электрооборудования выработала свой средний срок службы, а он, например, для трансформаторов, составляет 25 лет.

Поддержание требуемого уровня надёжности возможно только при своевременных плановых ремонтах и техническом обслуживании. Для выполнения этих работ необходим не только квалифицированный персонал, но и наличие запасных частей.

Одним из эффективных инструментов для решения этой задачи, является определение предельного срока эксплуатации электрооборудования с учетом его фактического технического состояния [1]. Соответственно, наиболее перспективным направлением улучшения системы планово-предупредительных ремонтов является стратегия ремонта по техническому состоянию.

Кроме прочего, важно иметь доступный инструмент для количественной оценки уровня надёжности электрооборудования, в качестве которого, может быть использован авторский программный продукт на основе эффективного метода [2].

Библиографический список

1. **Назарычев, А.Н.** Надёжность и оценка технического состояния оборудования систем электроснабжения: учебное пособие / А.Н. Назарычев, Д.С. Крупенёв. –Новосибирск: Наука, 2020. –224 с.
2. **Шевлюгин, М.В., Чекан, Г.В.** Интегральный критерий для оценки безотказности электроэнергетических объектов метрополитена с использованием модифицированного топологического метода // Электроника и электрооборудование транспорта, 2018. № 3. – С. 23-27.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТЛ-5М

Применение лазерной сварки в вакууме повышает механическую прочность сварных швов и их герметичность, не приводит к деформации свариваемых изделий во время технологического процесса и после его завершения. Для решения этих задач необходимо обеспечить высокую степень вакуума внутри камеры. Обычные типы статических уплотнений не обеспечивают требуемых параметров технологического процесса, а именно постоянную степень вакуума $10^{-3} - 10^{-4}$ мм. рт. ст. в течение длительного времени.

Для решения этой задачи предлагается использовать магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ) статического типа [1]. Между сопрягаемыми деталями разъёмных соединений находится магнитная жидкость, удерживаемая пондеромоторной силой создаваемой градиентным магнитным полем. Источником магнитного поля являются постоянные магниты из «закритических» редкоземельных материалов с величиной остаточной индукции от 0,6 до 0,9 Тл и коэрцитивной силы в диапазоне 480 – 950 кА/м. Магниты имеют форму прямоугольной трапеции с размерами: длина 54 мм, ширина 23 мм, высота 6 мм. Максимальное количество магнитов составляет 39 штук. Материал магнитопровода МЖГ - Сталь 10 с индукцией магнитного насыщения 2,1 Тл при напряжённости 50 кА/м.

МЖГ вакуумной камеры имел следующие размеры: наружный диаметр 700 мм, внутренний диаметр 688 мм. Рабочий зазор $\delta = 0,15$ мм, шаг зубца $b = 3$ мм, угол и площадка при основании зубца $\alpha = 45^\circ$, $t = 0,5$ мм. Число зубцов на полюсе 3. Численные исследования магнитного поля в МЖГ проводились в среде FEMM. В ходе исследований изменялось число постоянных магнитов и температура в камере, которая составляла от 20 до 120 $^\circ$ C. Результаты расчёта показали сохранение требуемых эксплуатационных параметров МЖГ при снижении числа магнитов до 17 штук и повышении температуры до 80.

Библиографический список

1. Сайкин, М.С. Разработка магнитожидкостных герметизаторов неподвижных разъёмных соединений. Вестник Рыбинской государственной авиационно-технологической академии им. П.А. Соловьева, 2019, N1 (48) – С. 28-32.

*К.А. Крупина, студ.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПУШКИ

Основным узлом установки электронно-лучевой сварки является электронно-лучевая пушка. От точности её положения, по отношению к горизонтальной оси, зависит качество получения сварного соединения. Для решения этой задачи предлагается использовать магнитожидкостный датчик угла наклона, который обладает высоким быстродействием и точностью [1]. Конструктивно датчик представляет собой: цилиндрический корпус, изготовленный из немагнитопроводного материала. В корпусе расположена магнитная система, состоящая из трёх кольцевых постоянных магнитов. Два магнита расположены в торцевых частях корпуса и крепятся в крышках с возможностью осевого перемещения, а между ними находится магнит, который является чувствительным элементом и помещён в магнитную жидкость, что обеспечивает его левитацию.

Проведены численные исследования магнитного поля магнитной системы датчика в среде FEMM для двух типоразмеров магнитов: K8x3x3 и K15x6x5 и пяти значений магнитных параметров (табл.1).

Таблица 1. Параметры магнитов

№ магнита	1	2	3	4	5
Коэрцитивная сила H_c , кА/м	200	480	560	600	660
Остаточная индукция B_r , Тл	0,3	0,8	0,9	1	1,1

Найдено расчётное распределение магнитной индукции вдоль поверхности магнита на расстояния в диапазоне от 0 до 3 миллиметров от неё. Величина магнитной индукции изменялась в пределах от 0,75 до 0,15 Тл.

Полученные результаты расчёта позволяют оценить численные значения силы отталкивания между магнитами и значение градиента магнитного поля в магнитной системе датчика. На основании полученных результатов можно прогнозировать ресурс магнитной жидкости в зависимости от градиента магнитной индукции.

Библиографический список

1. Сайкин, М.С., Морозова, Д.Ю. Магнитожидкостное устройство для определения угла наклона. Патент на полезную модель RU 113349 U1, 10.02.2012. Заявка № 2011142158/28 от 18.10.2011.

А.О. Смирнов, маг.;
рук. А.В. Вихарев, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

УСТАНОВКА ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Процесс магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ) основан на преобразовании электрической энергии, запасенной в емкостном накопителе энергии, в переменное магнитное поле, выполняющее работу пластической деформации заготовки или разгоняющее твердое тело. В работе была поставлена задача изучить возможность магнитно-импульсной обработки цилиндрических деталей диаметром 25 мм и толщиной 1,8 мм из меди с использованием цилиндрического индуктора.

С использованием программы Elcut решена задача по механической деформации этой детали (рис. 1). Показано, что для деформации детали нужно создать в ней механическую напряженность более $1,7 \cdot 10^9$ Н/м². Анализ показал, что для получения такой напряженности требуется магнитное поле с напряженностью более $1,345 \cdot 10^7$ А/м. Для решения этой задачи разработан цилиндрический индуктор. Проведенный в Elcut анализ показал, что увеличение числа витков в индукторе более 5 витков не дает увеличения напряженности магнитного поля. При этом, ток в индукторе должен быть порядка 95 кА.

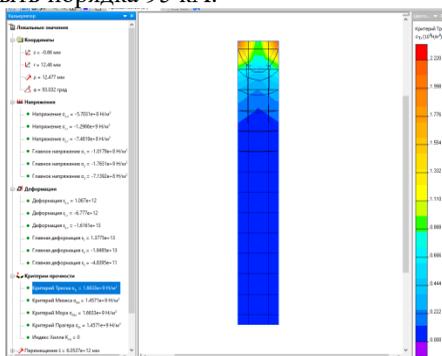


Рис. 1. Решение механической задачи для двухмерной осесимметричной модели обрабатываемой детали

Для работы предполагается использовать имеющийся на кафедре ВЭТФ ГИТ с энергией 2,5 кДж. В ходе анализа параметров разрядного тока было выявлено, что у имеющегося ГИТа большая внутренняя индуктивность разрядного контура, которая не позволяет добиться необходимого значения тока. Были предложены мероприятия по оптимизации разрядной установки.

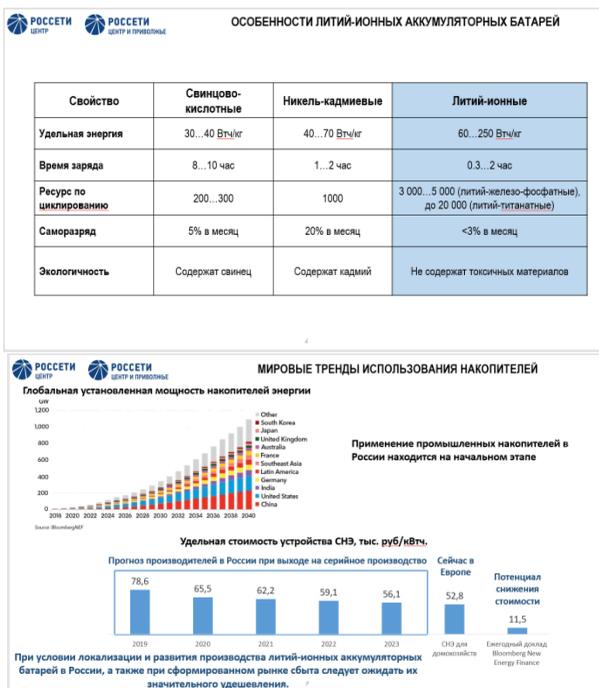
СЕКЦИЯ 17

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

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

Д.Р. Медведев;
рук. А.А. Филина

СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ – ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ



Основные варианты применения СНЭ в распределительных электрических сетях:

- 1) резервирование социально-значимых объектов 0,4 кВ;
- 2) поддержание качества электроэнергии в ВЛ-0,4 кВ;
- 3) сглаживание пиковых нагрузок на перегруженных подстанциях 35-110 кВ;
- 4) Применение СНЭ в составе объектов распределенной генерации;
- 5) Применение СНЭ для ценозависимого снижения потребления.

Библиографический список

1. **Накопители** электрической энергии для распределенных энергетических систем. Текст науч. статьи по спец. «Электротехника, электронная техника, информационные технологии» / Хлюпин П. А.
2. <https://energypolicy.ru/sistemy-nakopleniya-energii-rossijsk/energetika/2020/16/18/>
3. **Ихсанова, А. И.,** Гайнутдинова, А. М. Способы накопления и сохранения различных видов энергии // Аллея науки. 2017. — № 5. — С. 280–283.

*В.П. Егорова, Ф.М. Украинский;
рук. А.А. Филина*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ

Анализ статистических данных по аварийности воздушных линий электропередачи за последние годы показывает, что часть дефектов при использовании БПЛА (учащенная периодичность) можно было выявить на ранних стадиях и предотвратить нарушение, связанных с:

- несвоевременной вырубкой деревьев (веток), угрожающих падением на провода (4,5 %);
- неудовлетворительным техническим обслуживанием (17,2 %);
- гололедно-изморозевыми отложениями (5 %);
- падением деревьев (веток) из-за ветра (40,1 %).

Концептуально система автоматизированной диагностики ВЛ с применением БПЛА должна функционировать по следующему алгоритму:

1. Формирование полетного задания и передача его многофункциональной площадке базирования по цифровым каналам связи.

2. Зарядка и базирование БПЛА на ПС 35-110 кВ, прием задания по цифровым каналам связи и передача его в БПЛА.

3. Облет трасс ВЛ 35-110 кВ с диагностикой элементов ВЛ различными сенсорами.

4. Возврат на базу. Передача диагностической информации в Центр обработки данных. Начало режима зарядки.

5. Обработка данных диагностическим программным обеспечением. Выдача результатов.

6. Автоматическое формирование заявки на устранение дефекта и задания бригаде

Разработка базовой станции является ключевой задачей проекта.

Задачами автопилота являются:

– получение от наземной станции управления (зарядной системы БПЛА) полетного задания, в т. ч. заданных оператором параметров поворотных пунктов (ППМ), алгоритмов работы полезной нагрузки, алгоритмов отработки нештатных ситуаций;

– формирование и выдача в САУ БПЛА программной последовательности команд для системы навигации САУ.

Библиографический список

1. **Боев Н.М.**, Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния – Таганрог: изв. ЮФУ. Технические науки, 2015. – 12 с.

2. **Ганин, С.М. и др.** Беспилотные и дистанционно-управляемые летательные аппараты различного назначения построенные в СССР и России с начала их создания и по настоящее время (1999 г.)/Ганин С.М., Карпенко А.В., Колногоров В.В., Петров Г.Ф. – СПб.: Невский бастион, 1999. – 160 с.

3. **Иноземцев, Д.П.** Беспилотные летательные аппараты: Теория и практика, технологии, 2013.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

Важнейшим фактором, определяющим устойчивое развитие экономики, является надежное обеспечение потребителей электроэнергией. Актуальность проблемы эксплуатационной надежности силовых трансформаторов, определяется необходимостью обеспечить как в настоящее время, так и в перспективе высокую надежность работы силовых трансформаторов, значительное количество которых отработало установленный стандартом ГОСТ 11677-85 срок службы 25 и более лет.

В процессе эксплуатации электрических станций и подстанций встает вопрос обнаружения повреждения, по возможности на ранней стадии развития дефекта. Решением этой проблемы является внедрение автоматизированной системы мониторинга. Особое внимание необходимо уделить трансформатору как наиболее дорогостоящему элементу капиталовложений. Эффективный контроль состояния трансформатора позволяет своевременно принять меры, чтобы дефект не развился в повреждение и не вызвало аварию.

Для повышения эффективности применяемых систем и методов контроля состояния силовых трансформаторов необходимо проведение исследований для изучения процессов, приводящих к развитию внутренних коротких замыканий, взрывам и пожарам оборудования. Контроль состояния силовых трансформаторов целесообразно проводить в режиме online без отключения и вывода в ремонт.

Библиографический список

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
2. **Алексеев, Б.А.** Основное электрооборудование в энергосистемах / Б.А. Алексеев. – М: НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с.
3. **Львов, М.Ю.** Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше / М.Ю. Львов. // Электричество, 2010. № 2. – С. 27-31.

СЕКЦИЯ 18

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

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

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

*В.В. Качан, К.В. Гончаров, маг.;
рук. В.А. Тремясов, к.т.н., доц.
(СФУ, г.Красноярск)*

МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Предложен модифицированный алгоритм расчета надежности ЛЭП на базе топологического анализа, схемы выдачи мощности Курейской ГЭС. Общий вид ГЭС и отходящей линии показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид объектов энергетической инфраструктуры ГЭС

Среднее аварийное снижение годовой выработки станции энергии при авариях линий [1] с учетом топологии рассчитывается по формуле

$$\Delta W_{CT} = \sum_{j=0}^m \Lambda \left(\frac{k_{OП}}{k_{BП}} \right) \left\{ \Delta N(k_{OП}) \tau(k_{OП}) + + \Delta N(k_{BП}) \tau(k_{BП}) [\tau(k_{BП}) - \tau(k_{OП})] \right\}.$$

Пример схемы упрощенной модели, её граф и матрица [B] конъюнкции для нормального режима показаны на рис. 2.

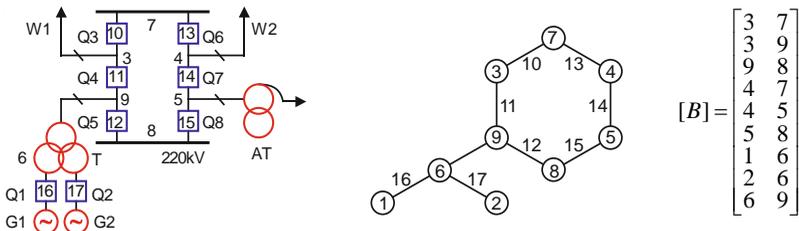


Рис. 2. Фрагмент модели нормального режима, графа схемы, матрицы B

Методика использована при создании программного комплекса, формирующего и рассчитывающего аналогичные модели аварийного и послеаварийного режимов. По схеме выдачи мощности ГЭС проведены численные эксперименты и показано существенное повышение интенсивности отказов ЛЭП при учете особенностей структуры РУ.

Библиографический список

1. Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике. –Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.

К.В. Гончаров, В.В. Качан, маг.;
рук. В.И.Пантелеев, д.т.н., проф.
(СФУ, г. Красноярск)

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ ВЛ 220 КВ ПРИ УЧЕТЕ ПОГОДЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В работе предложена модификация двухпогодной математическая модели [1] оценки надежности ЛЭП выдачи мощности ГЭС Крайнего Севера, с учетом обледенения. Повышение ледовой нагрузки на провода с восьмикратным увеличением диаметра показано на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид проводов при обледенении линий электропередачи

На основе модели построено ПО моделирования и проведены численные эксперименты. Для примера рассмотрена схема (рис. 2, а) с ЛЭП, от ОРУ 220 кВ Курейской ГЭС до Усть-Хантайской ГЭС. Среднее значение интенсивности отказов высоковольтной линии электропередачи в одном из алгоритмов определяют по выражениям

$$\lambda = \bar{\lambda} \cdot \frac{N+S}{N} \cdot (1-F), \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{[(N+S)/N] \cdot (1-F)},$$

меняя параметр F доли отказов от 0 до 1. Результат показан на рис. 2,б.

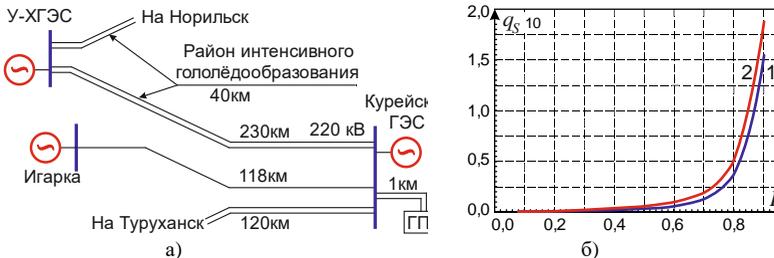


Рис. 2. Фрагмент схемы с ЛЭП 220 кВ и график зависимости коэффициента простоя от доли отказов для неблагоприятных погодных условий

Результаты анализа показали существенное влияние погодных условий на показатели надежности работы линии электропередачи.

Библиографический список

1. **Биллингтон, Р.**, Аллан, Р. Оценка надежности электроэнергетических систем / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

*К.Р. Крайнов, студ.;
рук. А.Г. Сорокин, к.т.н., доц.
(СамГТУ, г. Самара)*

ЗАЩИТНЫЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ПОДСТАНЦИЙ

В качестве искусственных заземлителей широко используют вертикально забитые в землю отрезки угловой стали с длиной от 2,5 до 3 метров, а также горизонтально проложенные стальные полосы различных форм, функционирующие как связующие между вертикальными заземлителями. Однако применение стальных труб не рекомендуется.

Естественные заземлители представлены проложенными в земле стальными водопроводными трубами, соединенными в стыках газо- или электросваркой, трубами артезианских скважин, а также стальной бронёй силовых кабелей (при числе их не менее двух), металлическими конструкциями и фундаментами зданий и сооружений, обладающих прочным соединением с землей, различного рода трубопроводами, проложенными под землей, а также свинцовыми оболочками кабелей, проложенными в земле.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников в основном используют нулевые рабочие проводники сети, металлические конструкции зданий, производственные металлические конструкции, стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические коробки шинопроводов и лотки. Однако запрещается использование металлических оболочек трубчатых проводов несущих тросов при тросовой электропроводке, металлических оболочек и свинцовых оболочек проводов и кабелей в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников.

Вне зависимости от степени применения естественных заземлителей в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников они должны обеспечивать прочное соединение с заземляющим устройством в помещениях, где используется заземление или зануление.

В ситуациях, когда необходимы проводники, не упомянутые ранее, прокладывают специальные заземляющие проводники, изготовленные обычно из стали, хотя в некоторых случаях могут использоваться цветные металлы, например, когда сталь не может быть использована из-за конструктивных затруднений. [1]

Библиографический список

1. Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: изд. четвертое, переработанное и дополненное. – М.: высш.шк., 1990. – 368 с.

*А.А. Самойлова, студ., А.Г. Кощеева, асп.;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц.
(НИУ, МЭИ)*

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В настоящее время ветряные электрические станции (ВЭС) активно строятся в регионах России с хорошим ветровым потенциалом – в основном, в регионах Юга России. По данным оперативного отчета о функционировании ЕЭС России на 01.01.2023 установленная мощность ВЭС в ОЭС Юга – 2003,3 МВт, что составляет 87 % от суммарной установленной мощности ВЭС ЕЭС России [1].

Генерация электроэнергии ВЭС напрямую зависит от погодных условий и имеет вероятностный характер, поэтому традиционные источники энергии являются основными производителями электроэнергии в энергосистеме.

Использование накопителей совместно с ВЭС повышает ее коэффициент готовности, обеспечивает выравнивание неравномерности ее генерации и резервирование, повышает качество электроэнергии и надежность. Существует множество типов СНЭ, обладающих различными характеристиками. Для обеспечения бесперебойного электроснабжения необходима комбинация типов СНЭ. Такая гибридная система будет обладать быстроедействием и длительным временем разряда и сможет обеспечить гарантированный график выдачи мощности в энергосистему.

Целью данной работы является анализ возможности применения гибридной СНЭ в составе ВЭС. Задачей исследования является разработка методики выбора оптимальных технических показателей СНЭ для работы в составе ВЭС. На основании проведенного анализа литературы был составлен перечень сочетаний СНЭ, который будет входить в состав гибридной СНЭ.

В дальнейших исследованиях будут разработаны математические модели подключения гибридного СНЭ к ВЭС, что позволит точнее оценить эффективность применения такого решения для оценки возможности обеспечения гарантированного графика выдачи мощности в энергосистему.

Библиографический список

1. **Системный** оператор единой энергетической системы России. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году (на основе оперативных данных)..

*Д. В. Смирнов, студ.;
рук. С.Ю. Тюрина, к.ф.н., доц., Е.М. Новоселов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

IMPROVING THE MEANS OF ELECTRICITY DISTRIBUTION FROM RES

Renewable energy sources are beginning to become widespread around the world. These are energy sources that are renewable or inexhaustible on a human scale. Issues related to the regulation of this part of the electric power industry are becoming more relevant. Therefore, I studied two articles on this issue.

The article [1] presents a new hierarchical model of predictive management system designed to help energy aggregators in the network provision of energy services sold in the markets of electricity. This model uses the method of variable direction of multipliers on a sliding horizon to coordinate the provision of multi-energy services protected from the network between aggregators and operators of energy resources. The authors claim that this makes it possible to obtain the most economical and reliable solution for aggregators, as well as significantly reduce natural gas consumption and corresponding CO₂ emissions under appropriate conditions.

Due to the dependence of electricity generation by solar and wind power plants (PV and WPPs, respectively) on natural conditions, problems arise with their contribution to the overall energy system. To solve this problem, the article [2] presents a method for clarifying the forecast schedule of electricity generation from renewable energy sources. The system is obliged to maintain a reserve of power to compensate for deviations in RES from the planned output volume. To achieve this goal, first of all, a system-wide reserve is used, followed by other means of reserving power. To analyze the technical and economic efficiency of certain backup means, mathematical models based on the theory of similarity and the criterion method were developed. Analysis of the results of various methods has shown that hydrogen technologies are the most effective.

Summing up, my research has shown that engineers are working on systems that improve the overall management system for the distribution of electricity from renewable energy sources and allow for the redundancy of these power plants. Such developments make it possible to expand the possibilities of the functioning of the power system.

Bibliography list

1. **Real-time** management of distributed multi-energy resources in multi-energy networks (2023) <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101022>.
2. **Increasing** Technical Efficiency of Renewable Energy Sources in Power Systems (2023) <https://doi.org/10.3390/en16062828>.

Г. Д. Смирнов, маг.;
рук. И. Н. Сулыненков, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

В настоящее время тема надежности электроснабжения является актуальной, так как происходит развитие электроэнергетической системы. Правильно подобранная конфигурация схем электроустановок, распределительных устройств (РУ), сетей позволит обеспечить баланс между их надежностью и дисконтированными затратами, сократит время перебоев питания потребителей, улучшит управляемость схем. Для решения данной задачи существует большое количество разнообразных методов, основанных на математическом аппарате теории вероятностей и математической статистики.

Целью данного исследования является поиск методов, наиболее подходящих для автоматизации расчетов и имплементации методов в программном коде. Разрабатываемое на этих методах программное обеспечение должно позволять вводить небольшой набор простых исходных данных, таких как схема сети, параметры элементов системы, и получать в результате прогнозируемые экономические и вероятностные показатели рассчитываемого объекта.

На первом этапе исследовательской работы произведен анализ литературы и рассмотрены основные методы расчета надежности схем. Осуществлена их классификация, рассмотрено их применение на тестовой схеме путем проведения ручных расчетов. Выявлены достоинства и недостатки каждого метода, которые представлены в докладе.

Исходя из анализа полученных результатов, можно сделать вывод, что наиболее подходящим для автоматизации методом для этапа проектирования является таблично-логический, для этапа расчета действующих систем - метод с использованием цепей Маркова. Следующим этапом научного исследования станет разработка методик автоматизации выбранных ручных методов расчета.

В заключение можно отметить, что по результатам научного исследования планируется создать доступное и простое в применении программное обеспечение, с использованием которого будут проведены многовариантные расчеты схем РУ.

Д.Н. Гаврилов, маг.;
рук. Д.А. Полкошников, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ВЫБЕГА

Известно, что амплитуды гармоник фиктивной обмотки ротора в спектре асинхронного двигателя имеют свойство резко возрастать при повреждении обмотки ротора [1]. В настоящее время больше обращают внимание на контроль в установившемся и пусковом режимах. Тем временем внимания к исследованию сигнала внешнего магнитного поля в режиме выбега при повреждениях обмотки ротора значительно меньше, несмотря на то что данный сигнал удобен для контроля асинхронных двигателей с небольшим временем пуска, работающих с низкой загрузкой в установившемся режиме.

В представленной работе была произведена оценка воздействия нагрузки в предшествующем выбегу режиме на спектры внешнего магнитного поля асинхронного двигателя при выбеге.

В данном исследовании были проанализированы спектры внешнего магнитного поля асинхронного двигателя 4АЗМ-2000/6000-УХЛ4 в режиме выбега при наличии и отсутствии оборванного стержня обмотки ротора при разной нагрузке, предшествующей режиму выбега:

- 1) 100% номинальной нагрузки;
- 2) 50% номинальной нагрузки;
- 3) в режиме холостого хода рабочей машины.

Результаты исследований показали, что для проведения контроля лучше использовать режим холостого хода рабочей машины, так как в данном режиме скорость вращения вала агрегата снижается медленнее. Это позволяет получить более точный результат при обработке сигнала методом оконного преобразования Фурье.

Библиографический список

1. **Страхов, А.С.** Способ выявления оборванных стержней в короткозамкнутой обмотке ротора асинхронного электродвигателя: пат. №2786379 РФ: МПК G01R 31/34 / А.С. Страхов, Е.М. Новоселов, Д.А. Полкошников и др. Заявка № 2022105568, заявл. 01.03.2022, опубл. 20.12.2022, бюл. № 35.

М.В. Власов, маг.;
рук. А.С. Страхов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА СПЕКТР ТОКА СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Приводами большинства механизмов собственных нужд на электрических станциях являются асинхронные электродвигатели. Отказ асинхронного электродвигателя может привести к нарушению функционирования системы собственных нужд, а, следовательно, и блока электростанции, а также дорогостоящему ремонту и замене самого двигателя. Одной из причин отказов является повышенный динамический эксцентриситет машины. Как следствие, цель работы, заключающаяся в своевременном обнаружении эксцентриситета асинхронных двигателей, является актуальной и требует проведения научных исследований.

Для достижения поставленной цели в программном комплексе «Ansys» был смоделирован электродвигатель типа 4A132S4У3 мощностью 7,5 кВт, номинальным напряжением 0,4 кВ при наличии динамического эксцентриситета и его отсутствии. Для обнаружения эксцентриситета использовался метод спектрального анализа сигнала тока статора. Обработка полученных сигналов осуществлялась в программном комплексе «MatLab» на основе метода быстрого преобразования Фурье с применением окна Флэттоп для более точного определения амплитуд гармонических составляющих.

На основании анализа полученных спектров показано, что наличие выраженного динамического эксцентриситета приводит к возрастанию амплитуд характерных гармонических составляющих, частоты которых составляют 25,5 и 74,5 Гц (для двигателя с числом пар полюсов, равным 2, и скольжением, равным 0,02).

Таким образом, проведенное исследование показало, что анализ спектра сигнала тока статора является эффективным инструментом для обнаружения динамического эксцентриситета в ходе эксплуатации асинхронных электродвигателей. Полученные результаты могут помочь снизить расходы на обслуживание и повысить надежность работы системы собственных нужд на электростанциях.

В дальнейшем планируется исследовать влияние динамического эксцентриситета на сигнал внешнего магнитного поля, оценить влияние нагрузки на амплитуды характерных гармоник и исследовать влияние статического эксцентриситета двигателя на спектры сигналов.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОВОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Состояние энергосистемы зависит от степени ее надежности. Воздушная линия электропередач состоит из элементов, таких как опора, траверса, изоляторы и провода, каждый из которых может выйти из строя с определенной вероятностью. Процент отказов для каждого элемента различен: провода - 52%, изоляторы - 31%, опоры - 13%, арматура - 4% [1]. Следовательно, провода являются наиболее ненадежным элементом.

Существует множество способов повышения надежности линий электропередач, но наиболее актуальный метод - замена проводов на провода нового поколения, имеющих улучшенные характеристики.

Целью данной работы является оценка экономической целесообразности проводов нового поколения, выбор наиболее перспективного провода и определение сроков его окупаемости. Из проведенного анализа характеристик проводов нового поколения в [2] был выбран провод АССС как наиболее перспективный. Для сравнения проводов АС 240/39 и АССС Monte Carlo 240 необходимо определить количество опор в пролете воздушной линии, которая равна 100 км с провесом провода в 2 метра.

Анализ характеристик проводов нового поколения показал, что провод АССС является наиболее перспективным из-за его наибольшего номинального тока, который является наиболее важным параметром при незначительной разнице в других характеристиках.

Провод нового поколения АССС имеет более усовершенствованные характеристики и окупается быстрее почти в 2 раза благодаря использованию меньшего количества опор и большей пропускной способности. Рекомендуется использовать такие провода при строительстве и реконструкции линий.

Библиографический список

1. **Чеканова, М.А.** Современные методики и технологии, направленные на повышение надежности работы воздушных линий электропередачи [Текст] / М.А. Чеканова // Молодежь и научно-технический прогресс: сб. науч. тр. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Губкин, 2018. – С. 193-196.

2. **Деревнина, В.С.** Увеличение надежности линий электропередач с помощью использования проводов нового поколения электропередачи [Текст] / В.С. Деревнина // Энергетика будущего - цифровая трансформация: сб. науч. тр. / Липецкий государственный технический университет. – Липецк, 2022. – С. 104-108.

В.С. Повалихин, маг.;
рук. Захаров М.А., ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБМОТКИ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ С ШИМ

В настоящее время большинство агрегатов промышленных предприятий, приводится в действие посредством асинхронных двигателей (АД). Одной из причин отказа АД является обрыв стержня короткозамкнутой обмотки ротора. Своевременное выявление данного дефекта позволит избежать незапланированных затрат.

Для обнаружения обрывов стержней разработан метод, основанный на анализе пускового тока АД в составе привода с частотным регулированием с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения [1]. Метод включает в себя определение допустимого диапазона напряжений для обнаружения повреждений. Аналитический расчет этого диапазона затруднён из-за наличия нелинейностей в системе электропривода, ввиду чего требуется проведение натурных экспериментов.

В данной работе представлены результаты исследований компьютерной модели частотно-регулируемого электропривода, позволяющей рассматривать вопросы диагностики узлов АД. Разработка имитационной модели привода состоит из трех этапов. На первых двух этапах в программном комплексе Ansys Maxwell создаются модели АД и системы управления им, после чего на третьем этапе данные модели объединяются, и производится имитация пуска и выхода на установившийся режим машины.

Сравнение результатов имитационного моделирования и натурального эксперимента показало достаточную достоверность разработанной модели, что в свою очередь позволит использовать ее для определения параметров частотных приводов, для вывода АД в наиболее оптимальные с диагностической точки зрения режимы.

Библиографический список

1. Способ выявления оборванных стержней в короткозамкнутой обмотке ротора асинхронного электродвигателя: пат. № 2791428 Рос. Федерация: МПК G01R 31/34 / А.С. Страхов, Е.М. Новоселов, Д.А. Полкошников, А.А. Скоробогатов, А.М. Захаров, А.Н. Назарычев. – Заявка № 2022127059, заявл. 17.10.2022, опубл. 07.03.2023, бюл. № 7.

О.А. Глазков, маг.;
рук. М.А. Захаров, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Актуальной проблемой диагностирования современных асинхронных двигателей (АД) является своевременное обнаружение повреждений АД. Причинами повреждений АД являются повреждения подшипников, статора, ротора и другие механические повреждения [1].

Проведение исследований заведомо неисправного АД в реальном технологическом процессе затруднено, поэтому целью данной работы являлась разработка научно-исследовательского стенда для анализа спектров сигналов тока статора с применением преобразователя частоты (ПЧ) как элемента системы диагностики.

Разработанный лабораторный стенд включает в себя два АД типа АИР71А6: один с исправной обмоткой ротора (ОР), другой с поврежденной. Для регистрации сигналов тока статора использовалось устройство сопряжения ENMU. Выявление повреждения короткозамкнутой ОР по току статора [2] возможно только при длительности пуска более трех секунд. Для увеличения пуска АД использовались автотрансформатор и ПЧ.

На базе данного стенда был получен и проанализирован ряд цифровых сигналов временных зависимостей тока статора, которые в дальнейшем были подвергнуты оконному преобразованию Фурье.

Исходя из полученных цифровых сигналов можно сделать вывод, что благодаря анализу их частотно-временного спектра появляется возможность выявления повреждений ОР, наличие которых удастся обнаружить только при затянутом пуске АД, что невозможно выполнить при прямом. Анализ сигналов и их частотно-временного спектра наглядно показывает, что ПЧ как элемент системы диагностики АД является одним из актуальных решений данной проблемы.

Библиографический список

1. “IEEE Recommended Practice for The Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems”, IEEE Std. 493-1997[IEEE Gold Book], Appendix H, 1997.
2. **Назарычев, А.Н.** Экспериментальное определение диагностических признаков повреждения обмоток роторов высоковольтных двигателей электростанций в режиме пуска / А.Н. Назарычев, Е.М. Новоселов, Д.А. Полкошников, А.С. Страхов, А.А. Скоробогатов, А.А. Пугачев // Дефектоскопия. – 2020. № 5. – С. 3–11.

А.А.Бегунова, студ.;
рук. И.Н.Сульменков к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В последние годы одним из наиболее перспективных видов возобновляемых источников энергии является энергия солнца. На эффективность работы солнечных элементов влияют различные внешние факторы, такие как оседание пыли, песчинок, снега, листьев и других инородных предметов. В связи с этим возникает необходимость в исследовании степени влияния этих факторов.

Целью работы является оценка влияния различных загрязнений на выработку полезной мощности солнечными панелями. Задачи научной работы: разработка модели фотоэлектрического элемента, которая отличается от существующих моделей учётом степени загрязнения панели; проведение опытов и расчетов на физической и математической моделях в условиях различной загрязненности, оценка адекватности математической модели; оценка влияния степени загрязнения на работу солнечных панелей для электростанций большой мощности.

На первом этапе были проведены опыты на стенде, расположенном на кафедре электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования Ивановского государственного энергетического университета в аудитории В-110. Были проведены эксперименты в различных режимах работы панели в условиях различной их загрязнённости и получены энергетические характеристики. В качестве моделей загрязнителей использовались плёнка, песок, вода. По результатам исследований самое большое воздействие оказали мокрый песок и грязь.

На следующем этапе была разработана модель солнечного фотоэлемента в программном комплексе Matlab Simulink. Для оценки адекватности разработанной модели было произведено сравнение результатов, полученных на стенде и на математической модели. На основании критерия Фишера подтверждена гипотеза об адекватности построенной модели. Разработанную модель можно применять для более крупных солнечных фотоэлементов. Это позволит оптимизировать работу персонала солнечных станций.

По результатам проведённых исследований можно сказать, что для эффективной работы солнечных панелей требуется их регулярная очистка. Данный аспект следует учитывать при создании солнечных электростанций.

А.Ю. Кольчугин, маг.;
рук. И.Н. Сульниенков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

О РЕЗУЛЬТАТАХ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Расчет надежности схем электроустановок был и остается серьезной задачей в современной электроэнергетике. Решение данной задачи позволит определять предпочтительные проектные решения при строительстве объектов электроэнергетики, а также снизить их стоимость.

Для решения задачи быстрых и точных расчетов схем электроустановок была разработана методика расчета схем распределительных устройств энергообъектов [1] с применением матричных методов.

Благодаря использованию матричных методов, данную методику можно описать с помощью программного кода. Таким образом, описываемая методика была разработана на языке программирования Visual Basic for Application, который встроен в офисный пакет Microsoft Office.

В данной программе был произведен расчет надежности схемы распределительного устройства «Две рабочие системы шин», включающий в себя расчет всех возможных состояний схемы, а также расчет интересных показателей надежности, в частности, частота отключения потребителей, по рассчитанным матрицам.

В докладе представлены примеры расчета схемы распределительного устройства с различными входными параметрами, такими как частоты отказов и плановых ремонтов, а также времени восстановления и времени плановых ремонтов оборудования, таким образом моделируя использование разного оборудования, например, высоковольтных выключателей с разными способами гашения дуги.

В докладе представлен анализ результатов расчета надежности схемы с различными входными параметрами элементов схемы. На основе данных результатов даны рекомендации по выбору наиболее надежных и экономичных схемных решений.

Библиографический список

1. Сульниенков, И.Н., Мельникова, О.С. Методика расчета надежности схем распределительных устройств энергообъектов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 73. Надежность систем энергетики в условиях энергетического перехода. /Отв. ред. академик РАН В.А. Стенников. –Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2022. – С. 318-328.

А.П. Козлов, студ;
рук. Е.М. Новоселов, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Быстрыми темпами разрабатываются и внедряются цифровые технологии, применение которых может способствовать переходу энергетики на новый технологический базис[1].

Работа электростанций зависит от надежности системы электроснабжения собственных нужд. Наиболее распространенной причиной отказов являются неисправности асинхронных электродвигателей. Недооценка важности своевременной и глубокой проработки вопросов организации эффективных процедур диагноза, в том числе автоматизации поиска неисправностей сложных объектов, ведет к непроизводительным материальным затратам, затратам времени при наладке, профилактике и ремонте[2].

Целью данной работы является анализ технического состояния асинхронного электродвигателя собственных нужд на предмет обрыва обмотки ротора, с помощью интеллектуального анализа данных в программном комплексе Statistica.

В качестве данных для анализа рассматривались: частота и амплитуда тока обмотки ротора, скольжение, а также их совокупность. Параметры для обучения нейронной сети брались с математической модели электродвигателя АИР71А6, построенной в программе Ansis, а для анализа - с реального электродвигателя собственных нужд при помощи измерительного преобразователя. Использовались такие виды нейросетей, как многослойный персептрон и радиально базисная функция.

Проведенный анализ показал, что нейросетевые алгоритмы имеют положительные тенденции к применению. Результаты научно-исследовательской работы могут быть использованы в качестве разработок новых методов в решении задач диагностики, при помощи искусственного интеллекта.

Библиографический список

1. **Энергетическая** стратегия Российской Федерации на период до 2035 года.
2. **Веселов, О. В.** Методы искусственного интеллекта в диагностике : учеб. пособие / О. В. Веселов, П. С. Сабуров ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: изд-во ВлГУ, 2015. – 251 с.

*М.Р. Хабарин, маг;
рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОЧИХ МАШИН

Обычно вентиляторы и насосы, используемые в системе собственных нужд электростанции, подключаются напрямую к сети. В случае с насосами для регулирования их производительности используется гидравлическое дросселирование. Для вентиляторов применяют специальные шиберы, направляющие осевые аппараты, двухскоростные двигатели. В обоих случаях регулируется поток жидкости или воздуха за счет его ограничения, сами двигатели работают практически на номинальном режиме.

Для питателей и других механизмов где требуется плавное регулирование скорости зачастую используются двигатели постоянного тока с тиристорным управлением. Недостатком этим механизмов является необходимость их постоянного обслуживания, а именно замена щеток двигателя.

Наиболее распространенными на сегодня современными способами регулирования вращающихся механизмов в энергетике являются преобразователи частоты и гидромуфты.

Целью данной работы является оптимизация способов регулирования производительности рабочих машин системы собственных нужд электрических станций.

Применение частотно-регулируемого привода за счет большого диапазона регулирования (0% - более 100%) позволяет добиться большой плавности и гибкости в регулировании технологического оборудования. Гидромуфты более ограничены в регулировании и позволяют осуществлять только дискретное регулирование.

Стоит отметить, что КПД частотно-регулируемого привода (ЧРП) выше чем у гидромуфт, особенно при низких нагрузках и работе на низких оборотах двигателя. Максимальный КПД может достигать значений до 98%.

Таким образом, преобразователи частоты являются более подходящим решением для оптимизации работы потребителей станции, они удобнее, дешевле и эффективнее!

Библиографический список

1. **Скоробогатов, А.А.** Электрическая часть тепловых и атомных электростанций: учеб. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2017. – 193 с.

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

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ 6/10 кВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В электрических сетях напряжением 6/10 кВ ключевой проблемой является способ заземления нейтрали [1], поскольку он оказывает значительное влияние на надежность электроснабжения потребителей и сохранность электрооборудования на электроэнергетических объектах.

В настоящее время системы собственных нужд электрических станций и подстанций работают в основном с изолированной нейтралью. Релейная защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в таких сетях не способна селективно обнаружить и (или) отключить аварийное присоединение, при этом вся сеть на время поиска повреждения длительно находится под воздействием дуговых перенапряжений.

Исходя из данных недостатков, на сегодняшний день постепенно происходит тенденция отказа от изолированного режима заземления нейтрали. Предпочтение отдается резистивному заземлению, поскольку его применение позволяет существенно повысить надежность работы сети, автоматизировать процесс поиска поврежденного фидера и снизить аварийность при ОЗЗ.

Отключение ОЗЗ обеспечивается подключением к нейтрали сети резистора с сопротивлением, вычисляемым по формуле (1), согласно указаниям [2]. Суммарный ток в месте повреждения будет складываться из емкостного тока сети и активного тока через резистор, давая команду защите на селективное отключение повреждения.

$$R_N \leq \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot I_{С.З.макс}}, \quad (1)$$

где $I_{С.З. макс}$ – максимальный ток срабатывания защиты, А; $U_{ВН}$ – линейное напряжение стороны высшего напряжения трансформатора, В.

Библиографический список

1. **Васюра, Ю.Ф.** Защита от перенапряжений в сетях 6–10 кВ. – М.: Электротехника, 1994. – № 5/6.
2. **СТО Газпром 2-1.11-070-2006:** метод. указ. по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром».

М.Ю. Алтухов, студ.;
рук. Е.М. Новоселов, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СТАТОРА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В результате повреждений изоляции и возникновения коротких замыканий в обмотке выходит из строя до 80% электродвигателей. Неполнофазные режимы ведут к повреждению изоляции обмотки в результате перегрева, а их доля в общем количестве отказов составляет 40%. Межвитковые замыкания являются одной из наиболее распространенных причин отказов асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций [1].

Рассматриваемый дефект в обмотке статора у двигателей небольшой мощности очень быстро приводит к значительным повреждениям электрических машин, поэтому важно быстро выявлять данный вид неисправности. При этом существующие устройства релейной защиты не чувствительны к межвитковым замыканиям, поэтому актуальной задачей является разработка методов диагностики, снижающих отказ двигателей.

Для выявления диагностических признаков межвитковых замыканий было выполнено математическое моделирование методом конечных элементов в программном комплексе Ansys Maxwell. С этой целью смоделирован асинхронный двигатель АИР71А6 мощностью 370 Вт с замыканием одного из витков обмотки статора. Компьютерная модель позволяет производить регистрацию сигналов тока статора, а также внутреннего и внешнего магнитных полей при наличии и отсутствии повреждения.

В дальнейшем планируется произвести обработку полученных диагностических сигналов в программном комплексе MATLAB для выявления новых диагностических признаков межвитковых замыканий в обмотке статора асинхронного электродвигателя с учетом специфики работы электродвигателей собственных нужд электростанций.

Библиографический список

1. **Клоков, Б.К.** Ремонт обмоток электрических машин высокого напряжения: учеб. пособие / Б.К. Клоков, Р.Б. Уманцев. – М.: высш. шк., 1991. – 191 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

Важнейшим фактором, определяющим устойчивое развитие экономики, является надежное обеспечение потребителей электроэнергией. Актуальность проблемы эксплуатационной надежности силовых трансформаторов, определяется необходимостью обеспечить как в настоящее время, так и в перспективе высокую надежность работы силовых трансформаторов, значительное количество которых отработало установленный стандартом ГОСТ 11677-85 срок службы 25 и более лет.

В процессе эксплуатации электрических станций и подстанций встает вопрос обнаружения повреждения, по возможности на ранней стадии развития дефекта. Решением этой проблемы является внедрение автоматизированной системы мониторинга. Особое внимание необходимо уделить трансформатору как наиболее дорогостоящему элементу капиталовложений. Эффективный контроль состояния трансформатора позволяет своевременно принять меры, чтобы дефект не развился в повреждение и не вызвало аварию.

Для повышения эффективности применяемых систем и методов контроля состояния силовых трансформаторов необходимо проведение исследований для изучения процессов, приводящих к развитию внутренних коротких замыканий, взрывам и пожарам оборудования. Контроль состояния силовых трансформаторов целесообразно проводить в режиме on-line без отключения и вывода в ремонт.

Библиографический список

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
2. **Алексеев, Б.А.** Основное электрооборудование в энергосистемах / Б.А. Алексеев. – М: НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с.
3. **Львов, М.Ю.** Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество, 2010. № 2. – С. 27-31.

СЕКЦИЯ 19

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

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

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

*Д.Н. Груздев, маг.,
рук О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Результаты анализа аварийности маслонаполненного оборудования электрических станций, свидетельствуют о том, что одной из основных причин отказов является снижение электрической прочности маслобязной изоляции в процессе эксплуатации.

Для обеспечения надёжности и продления сроков службы силовых трансформаторов, как новых, так и находящихся длительно в эксплуатации важно иметь достоверные методы диагностики.

Результатом работы являются совершенствование системы поддержки принятия решений по выбору эксплуатационных воздействий с учетом интегральной оценки технического состояния и определения характеристик электрической прочности изоляции.

Эффектом от управления техническим состоянием силовых трансформаторов на электрических станциях являются снижение эксплуатационных расходов и снижение капитальных затрат. В связи с изменением интервалов между ремонтами, техническое обслуживание и ремонт силовых трансформаторов производится только по мере необходимости. При этом осуществляется гибкое управление трудовыми ресурсами, оптимизация режимов работы оборудования электрических станций и раннее выявление убытков.

Следующим эффектом также являются создание базы для использования цифровых двойников для обучения обслуживающего персонала, технологов, ремонтного персонала, проведение виртуальных экспериментов с оборудованием в технологическом процессе, возможность проведения виртуальных пуско-наладочных работ на действующих и новых электрических станциях, исключение незапланированных простоев оборудования из-за отказов, улучшение показателей общей эффективности оборудования, повышение эксплуатационной безопасности. Увеличением срока службы оборудования будет происходить в связи с выбором оптимального режима работы и ранним выявлением возникновения дефектов.

Библиографический список

1. **Управление** старением трансформаторов систем нормальной эксплуатации АЭС на основе риск-ориентированного подхода / А.Н. Назарычев, Д.А. Андреев, О.С. Мельникова, А.А. Пугачев // Энергетик, 2022. – № 3. – С. 7-13.

П.В. Боголюбова, маг.;
рук. А.В. Вихарев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ПЛОСКОГО ИНДУКТОРА ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Процесс магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ) основан на преобразовании электрической энергии, запасенной в накопителе, в переменное магнитное поле, выполняющее работу пластической деформации заготовки или разгоняющее твердое тело. В данной работе был спроектирован один из основных элементов магнитно-импульсных установок (МИУ) – индуктор (рис.1).

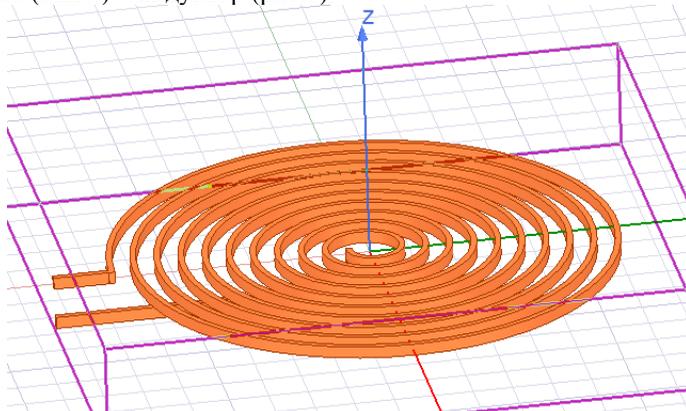


Рис. 1. Геометрическая модель плоского спирального индуктора.

С использованием компьютерных программ моделирования электромагнитных полей были определены параметры плоского индуктора для обработки металлических деталей диаметром 10 см. При этом наиболее оптимальным является индуктор из 20 витков.

В настоящее время проводится анализ возможных режимов работы учебного генератора импульсных токов с энергией 2 кДж с плоским индуктором с целью создания учебно-лабораторного стенда по изучению магнитно-импульсной обработки материалов.

Библиографический список

1. **Прокофьев, А.Б. [и др.]**. Магнитно-импульсная обработка материалов (МИОМ): монография – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.
2. **Карпова, И. М.** Компьютерные технологии в науке и производстве. Расчет физических полей в электроэнергетике: учеб. пособие / И. М. Карпова, В. В. Титков. – СПб: изд-во Политех. ун-та, 2010. – 212 с.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕКИНГОЭРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

В процессе эксплуатации высоковольтных изоляционных конструкций, особенно, когда поверхность изоляторов находится в увлажненном и загрязненном состоянии, могут возникать поверхностные (стримерные) скользящие разряды. При этом, канал стримера формируется в слое газа, в котором идут интенсивная фотоионизация и образование новых электронных лавин, внедряющихся в канал стримера.

Тепло, выделяемое при этих разрядах, воздействует на изоляционный материал, вызывая разрушение поверхностных слоев, с образованием, в том числе, и проводящих треков. Длина трека со временем увеличивается, что приводит к перекрытию изолятора с необратимой потерей им электрической прочности.

Все изоляционные конструкции, которые предполагается использовать для наружной установки, должны проходить испытания на трекингоэрозионную стойкость.

Испытания на трекингоэрозионную стойкость изоляторов проводятся в герметичной камере, оснащенной вводом высокого напряжения. В течение всего времени эксперимента относительная влажность воздуха в камере должна поддерживаться на уровне не менее 90%, кроме того для удержания влаги на поверхности изолятора требуется периодическое орошение поверхности раствором хлорида кальция.

Разрядные процессы вызываются воздействием нормированного, государственным стандартом, испытательного напряжения.

После завершения тестового воздействия нормированным напряжением, продолжительность которого определяется допустимой степенью загрязнения изолятора, проводятся контрольные испытания с определением среднего разрядного напряжения.

В лаборатории диагностики высоковольтного оборудования выполнена оценка трекингоэрозионной стойкости одного из современных штыревых полимерных изоляторов. Воздействие тестовым нормированным напряжением в течение двухсот часов вызвало на отдельных участках изолятора появление незначительных следов эрозии без образования проводящих треков, при этом изолятор успешно выдержал контрольные испытания.

А.М. Чикалева, асп.;
рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)

ВЛИЯНИЕ СТРЕЛЫ ПРОВИСА НА ВЕЛИЧИНУ ИНДУЦИРОВАННОГО ТОКА В ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

С 2018 года Россия взяла курс на цифровое преобразование экономики страны [1], который затрагивает, в том числе и отрасль энергетики. Цифровая трансформация меняет подход к развитию распределительных систем, в частности воздушных линий электропередачи (ВЛ). Последнее время наблюдается активная замена грозозащитных тросов на ОКГТ – тросы со встроенным оптическим волокном. Независимо от напряжения ВЛ ОКГТ должен, как правило, быть заземлен на каждой опоре, в некоторых случаях допускается любой способ подвески ОКГТ [2, 3].

Значение величины наведенного тока в грозозащитных тросах (ГТ) напрямую связано с величиной потерь энергии. Существующие методы расчёта наведенного тока в (ГТ) учитывают такие характеристики как номинальное напряжение ВЛ, параметры проводов ВЛ и ГТ, геометрия опор, количество и режим заземления ГТ.

Моделирование выполнялось в программном комплексе ATP-Draw, целью которого являлась оценка величины наведенного тока в грозозащитных с учетом различных параметров опор ВЛ для различных ГТ на примере линий 110 кВ. Существующие методики расчета тока в тросе не учитывают величину стрел провиса, а проведенные исследования показали их существенное влияние на значение наведенных токов в тросе. Для зависимостей величины наведенного тока в ГТ от коэффициента провиса, равного отношению стрелы провиса троса к величине провиса фазного провода, характерно увеличение тока в тросе. Результаты моделирования показали, что не учет стрелы провиса приводит к увеличению погрешности до 30%.

Библиографический список

1. **Указ № 204** от 7.05.2018 о национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года
2. **Правила.** – 7 изд. Утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
3. **СТО** Технологическая связь. Правила проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС на воздушных линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше

*С.В. Гуцин, маг., А.М. Чикалева, асп.;
рук. С.В. Воробьев, ст. препод.
(ИГЭУ, Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ШАЙБ НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ В МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ

При расчёте и оценке электрических полей в высоковольтном оборудовании используются программные комплексы, позволяющие выполнять численное моделирование, например ANSYS Maxwell. Математический аппарат Ansys основан на использовании дифференциальных уравнений Максвелла и методе конечных элементов, позволяющий с достаточно высокой точностью выполнять численное моделирование [1].

Задачей исследования являлось изучение распределения электрических полей, в многоэлектродной системе с использованием диэлектрических шайб с отверстием, для регулировки и уменьшения разницы напряженностей электрического поля многоэлектродной системы.

На первом этапе создавалась имитационная модель проектируемого многоискрового разрядника с учетом его реальных геометрических размеров и материалов электродной системы, материалов диэлектрика, а также задавались граничные условия, необходимые для численного моделирования электрического поля (рис. 1).

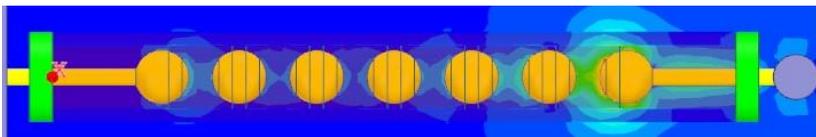


Рис. 1. Имитационная модель многоискрового разрядника в ANSYS Maxwell

На втором этапе моделирования было учтено влияние заземленных частей электроустановки и получена картина распределения электрического поля в электродной системе разрядника.

Полученные результаты показали действенность применения диэлектрических шайб с целью выравнивания напряженности электрического поля. Неравномерность распределения напряжения была снижена приблизительно на 20%.

Библиографический список

1. ANSYS Maxwell 3D Field Simulator v16 User's Guide, ANSYS Inc.

А.О. Смирнов, маг.;
рук. А.В. Вихаре., к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ИНДУКТОРА ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время магнитно-импульсная обработка материалов (МИОМ) является эффективным способом обработки материалов. Так, например, магнитно-импульсная формовка позволяет обрабатывать как всю заготовку в целом, так и ее часть. Изучение процессов при МИОМ включено в учебный курс «Высоковольтная импульсная техника». По данному курсу планируется разработка лабораторной работы на базе существующего на кафедре ВЭТФ генератора импульсных токов (ГИТ).

Для проведения лабораторной работы по МИОМ необходимо создание индукторов для ГИТ. С использованием компьютерной программы Elcut 6.6 Student был разработан цилиндрический индуктор диаметром 2.7 см для обработки медной заготовки (рис 1). Наибольший эффект МИОМ достигается при использовании двухслойного индуктора содержащего по 5 витков в слое.

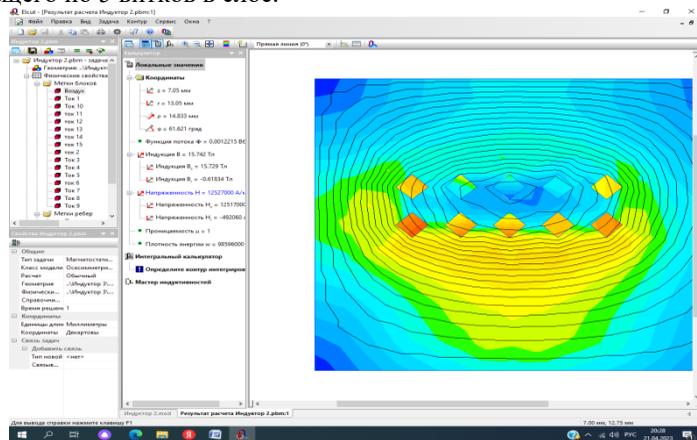


Рис. 1. Геометрическая модель цилиндрического индуктора

Результаты вычислительного эксперимента показали, что для обработки заготовки ток в индукторе должен быть более 45 кА. Анализ параметров ГИТ показал, что индуктивность разрядного контура слишком большая и не позволяет получить нужных параметров тока, поэтому необходима оптимизация существующей схемы ГИТ.

Г.А. Шнак, маг.;
рук. Т.Е. Шадриков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Основная идея генератора импульсного напряжения – это параллельная зарядка конденсаторов и последующий последовательный их разряд, в результате чего на выходе ГИН получается высокое значение напряжения (до десятков МВ). На рис. 1 изображена однополупериодная многоступенчатая схема ГИН.

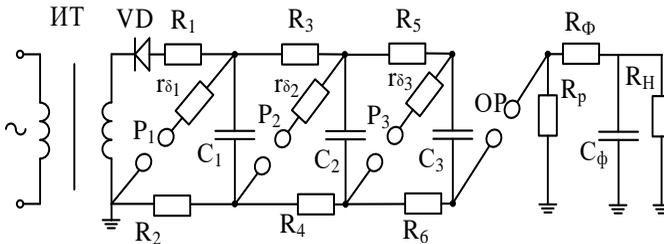


Рис.1 Однополупериодная схема ГИН

При срабатывании ГИН происходит разряд ВСЕХ конденсаторов через элементы, формирующие форму импульса R_ϕ , C_ϕ , и R_p . Также применяются двухрядные схемы ГИН (рис. 2).

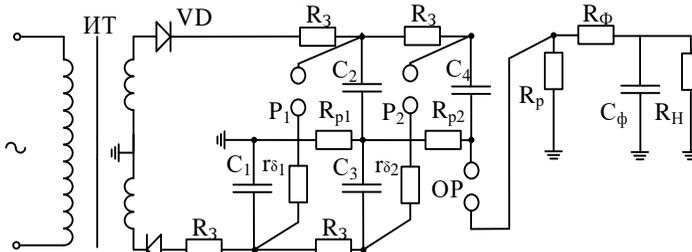


Рис. 2 Двухполупериодная схема ГИН

Использование такой схемы позволяет увеличить напряжение на одной ступени ГИН до $2U$, это целесообразно при сооружении многоступенчатого ГИН, так как позволяет снизить число промежуточных разрядников.

Библиографический список

1. **Богатенков, И.М. и др.** Техника высоких напряжений / Под ред. проф. Г.С. Кучинского. – С.-Петербург, 1998.

Содержание

Секция 13. Электрические системы

<i>Крайнов К.Р., рук. Сорокин А.Г.</i> Необходимость применения тестового стенда безопасности для систем SCADA	4
<i>Соболев В.С., рук. Савенко А.Е.</i> Анализ тяговых аккумуляторов электромобилей	5
<i>Серов А.В., Андрюхин М.В., рук. Титов В.Г.</i> Драйвер с гальванической развязкой для управления стойкой инвертора	6
<i>Юдин А.А., рук. Казанцев А.А.</i> Энергоэффективные трансформаторы в электрической сети	7
<i>Солуянов В.И.</i> Совершенствование нормативной базы в части удельных электрических нагрузок на примере агломерации «г. Москва – Московская область»	8
<i>Куликов Ф.А., рук. Мурзин А.Ю.</i> Сравнительный анализ оптимизационных методов определения места повреждения воздушных линий по синхронизированным векторным измерениям	9
<i>Умнов Я.А., рук. Иванов И.Е.</i> Реализация и верификация моделей участков ЭЭС для автоматизированного исследования методов ОМП воздушных линий	10
<i>Чудинов Ю.А., рук. Иванов И.Е.</i> Методология идентификации параметров моделей синхронных генераторов по данным векторных измерений в переходных режимах ЭЭС	11
<i>Чудинов Ю.А., Тепикин Я.Е., рук. Иванов И.Е.</i> Разработка и тестирование классификатора электроэнергетических режимов на основе векторных измерений	12
<i>Частухин Д.Д., Подьячий К.А., рук. Мартиросян А.А.</i> Моделирование переходных режимов в программном комплексе MATLAB для определения аperiodической составляющей токов в моменты коммутации элегазовыми выключателями присоединений	13
<i>Латина Е.В., рук. Мартиросян А.А.</i> Исследование надежности воздушных линий при гололедно-ветровых нагрузках	14
<i>Соколов И.А., Ховрина А.А., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Зависимость натуральной мощности ДЛЭП СВН от УПК различного типа	15
<i>Кузнецов Е.А., рук. Братолобов А.А.</i> Исследование режимов защитного заземления на величину наведенного напряжения в отключенных ВЛ	16
<i>Красиков Е.А., рук. Кулешов А.И.</i> Разработка компенсационных (замещающих) мероприятий, позволяющих вывод Ивановской ТЭЦ-2 филиал Владимирской ПАО «Т ПЛЮС» из эксплуатации	17
<i>Юлдашев Р.М., рук. Бушуева О.А.</i> Модель компактной управляемой воздушной линии электропередачи для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем	18
<i>Шевцова А.А., рук. Иванов И.Е.</i> Автоматизированное исследование динамической устойчивости электроэнергетической системы с несколькими генерирующими узлами	19

<i>Тычкин А.Р., Умнов Я.А., рук. Иванов И.Е. Анализ возможности имитации устройств синхронизированных векторных измерений при моделировании электромагнитных переходных процессов</i>	20
<i>Сметанин М.В., рук. Братолобов А.А. Синхронизация управляющих воздействий по условиям динамической устойчивости ЭЭС</i>	21
<i>Лаптев М.А., рук. Бушуева О.А. Компактные линии электропередачи. Эффективность применения компактных ЛЭП</i>	22
<i>Крайкина А.А., рук. Иванов И.Е. Исследование методов эквивалентирования участков ЭЭС для анализа несимметричных режимов и динамической устойчивости</i>	23
<i>Сорокина А.Д., рук. Иванов И.Е. Исследование методов анализа статической устойчивости ЭЭС с автоматизацией расчетных алгоритмов</i>	24
<i>Чистякова В.Ю., Смирнова С.Г., рук. Мурзин А.Ю. Особенности учёта взаимоиндукции линий электропередачи при расчетах аварийных режимов</i>	25
<i>Харламова Л.А., рук. Братолобов А.А. Оценка погрешности представления синхронных машин переходными параметрами при исследовании устойчивости ЭЭС</i>	26

Секция 14. Электроснабжение

<i>Добренский Р.А., рук. Ребровская Д.А. Оценка корректности принятого допущения в известной математической модели определения снижения потерь мощности</i>	28
<i>Митяев А.А., рук. Курганов С.А. Численно-символьный расчет токов источников гармоник в электрических сетях</i>	29
<i>Шувалова Ю.Н., Липужин И.А., Бедретдинов Р.Ш., рук. Шадухо А.В. Разработка алгоритмов управления мультистеком на основе водород - воздушных топливных элементов</i>	30
<i>Петухов Я.И., Крюков Е.В., рук. Кралин А.А. Моделирование системы электрогенерации поплавковой волновой электростанции</i>	31
<i>Адаев О.В., рук. Юренков Ю.П. Программная модель срабатывания ограничителя тока с двухступенчатым принципом токоограничения на основе двух жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей</i>	32
<i>Гусев Д.А., Бедретдинов Р.Ш., Крюков Е.В. Повышение эффективности функционирования разнотипных возобновляемых источников энергии</i>	33
<i>Еременко В.В., Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш., рук. Соснина Е.Н. Повышение энергоэффективности собственных нужд АЭС</i>	34
<i>Фролов А.В., рук. Бушуева О.А. Математическая модель нагрузки энергообъекта Владимирской энергосистемы</i>	35
<i>Куаку Ж.В., рук. Бушуева О.А. Использование ресурсов солнечной энергии для электроснабжения потребителей в республике Кот-д'Ивуар</i>	36
<i>Козина Н.А., рук. Бушуева О.А. Режимы устойчивости систем электроснабжения с объектами малой генерации</i>	37
<i>Приходцев С.С., рук. Бушуева О.А. Повышение эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия</i>	38

<i>Демин Н.А., рук. Сорокин А.Ф.</i> Внедрение системы накопления электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ для стабилизации напряжения и покрытия пиков нагрузки	39
<i>Крымова Д.Р., рук. Сорокин А.Ф.</i> Расчёт дозы фликера в системах электроснабжения предприятий с дугowymi сталеплавильными печами	40
<i>Баканова Е.А., рук. Сорокин А.Ф.</i> Исследование эффективности ограничения высших гармоник в системе электроснабжения предприятия	41
<i>Пучкова А.А., рук. Аржанникова А.Е.</i> Сравнительный анализ потерь электроэнергии в трансформаторах разных классов энергоэффективности	42
<i>Сидорычев И.А., рук. Шутьин А.А.</i> Повышение эффективности использования электрической энергии в электрических сетях энергетических объектов	43
 Секция 15. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем	
<i>Алёшин К.С., Сёмушкин А.А., рук. Шадрикова Т.Ю.</i> Исследование алгоритма универсальной централизованной защиты от замыканий на землю в кабельных сетях 6-10 кВ	45
<i>Алёшин К.С., Сёмушкин А.А., рук. Шуин В.А.</i> Функциональные испытания алгоритма централизованной направленной импульсной защиты от замыканий на землю	46
<i>Евдаков А.Е., рук. Яблоков А.А.</i> Применение машинного обучения для классификации событий в электроэнергетических системах	47
<i>Шарыгин Д.С., рук. Филатова Г.А.</i> Исследование компенсации переходного сопротивления в алгоритме определения места повреждения	48
<i>Слузова А.В., Куликов А.Л., рук. Куликов А.Л.</i> Распознавание поврежденного участка при определении места повреждения высоковольтных воздушных линий электропередачи	49
<i>Тычкин А.Р., Иванов И.Е., Умнов Я.А., рук. Яблоков А.А.</i> Разработка алгоритма дистанционного определения места повреждения с использованием синхронизированных векторных измерений	50
<i>Григорьев Д.Г., рук. Лебедев В.Д.</i> Исследование комплекса RTDS и усилителя Ропово для испытаний первичных измерительных преобразователей	51
<i>Григорьев Д.Г.</i> Влияние дискретности усилителя на измерение сигнала, производимое с помощью катушки Роговского	52
<i>Петров И.А., рук. Лоскутов А.А.</i> Проведение испытаний коммутаторов с поддержкой стандарта МЭК 61850 на базе ПАК RTDS	53
<i>Тихов Е.М., Панащатенко А.В., рук. Яблоков А.А.</i> Разработка имитационных моделей трансформаторов тока для оценки их метрологических характеристик в переходных режимах	54
<i>Ширяева П.В., Фролова О.В., рук. Тюрина С.Ю.</i> Review on innovations in the protection of transmission lines	55
<i>Наумов К.И., Фролова О.В., рук. Тюрина С.Ю.</i> Review on developments in the automation of distribution systems	56
<i>Смирнов А.А., рук. Фомичёв А.А.</i> Применение адаптивной максимальной токовой защиты	57

<i>Романов Л.Р.</i> Разработка усовершенствованных алгоритмов токовых защит в распределительных сетях 6–35 кВ.	58
<i>Юдин А.А., рук. Юдина А.А.</i> Применение быстродействующего автоматического ввода резерва на ПС 110 кВ	59
<i>Крайнов К.Р., рук. Сорокин А.Г.</i> Классификация распространенных прикладных программно-вычислительных комплексов, используемых в электроэнергетике	60
<i>Антонов А.Н., рук. Кутумов Ю.Д., Лебедев В.Д.</i> Разработка корпуса автоматизированной точки коммерческого учета электроэнергии	61
Секция 16. Электротехника и электротехнологии	
<i>Тягин А.А., рук. Пантелеев В.И.</i> Двухфазный индукционный комплекс	63
<i>Монгуш Н.М., рук. Кинев Е.С.</i> МГД-насос поперечного поля	64
<i>Лётин К.А., Сизов В.В., рук. Чекан Г.В.</i> Основные причины снижения уровня надёжности электрооборудования	65
<i>Муравьева Е.А., рук. Сайкин М.С.</i> Исследование магнитожидкостного герметизатора вакуумной камеры установки лазерной сварки ТЛ-5м	66
<i>Крупина К.А., рук. Сайкин М.С.</i> Исследование магнитного поля магнитожидкостного датчика угла наклона электронно-лучевой пушки	67
<i>Смирнов А.О., рук. Вихарев А.В.</i> Установка для магнитно-импульсной обработки цилиндрических заготовок	68
Секция 17. Электроэнергетика: прошлое, настоящее, будущее	
<i>Медведев Д.Р., рук. Филина А.А.</i> Система накопления электрической энергии – элемент современной энергосистемы	70
<i>Егорова В.П., Украинский Ф.М., рук. Филина А.А.</i> Использование беспилотных летательных аппаратов в электросетевом комплексе	71
<i>Козлов Н.П., рук. Савельев В.А.</i> Исследование процессов развития витковых замыканий и разработка мероприятий по их предотвращению	72
Секция 18. Электрооборудование и режимы электрических станций и подстанций	
<i>Качан В.В., Гончаров К.В., рук. Тремясов В.А.</i> Модели для расчета надежности высоковольтной линии электропередачи	74
<i>Гончаров К.В., Качан В.В., рук. Пантелеев В.И.</i> Модель надежности ВЛ 220 кВ при учете погоды Крайнего Севера	75
<i>Крайнов К.Р., рук. Сорокин А.Г.</i> Защитные заземления электроустановок и подстанций	76
<i>Самойлова А.А., Коцеева А.Г., рук. Антонов А.А.</i> Анализ применения гибридной системы накопления электроэнергии на ветряной электрической станции	77
<i>Смирнов Д.В., Новоселов Е.М., рук. Тюрина С.Ю.</i> Improving the means of electricity distribution from RES	78
<i>Смирнов Г.Д., рук. Сульменков И.Н.</i> Анализ применимости методов расчета надежности схем распределительных устройств для целей автоматизации	79

<i>Гаврилов Д.Н., рук. Полкошиников Д.А.</i> Исследование влияния эксплуатационных факторов на внешнее магнитное поле электродвигателя в режиме выбега	80
<i>Власов М.В., рук. Страхов А.С.</i> Исследование влияния динамического эксцентриситета на спектр тока статора асинхронного электродвигателя	81
<i>Юдин А.А., рук. Юдина А.А.</i> Оптимизация работы электрических сетей при применении проводов нового поколения	82
<i>Повалихин В.С., рук. Захаров М.А.</i> Применение имитационного моделирования для выявления повреждений обмоток ротора электродвигателя в системах с шим	83
<i>Глазков О.А., рук. Захаров М.А.</i> Преобразование частоты как элемент системы диагностирования асинхронного электродвигателя	84
<i>Бегунова А.А., рук. Сулыненков И.Н.</i> Моделирование солнечных панелей в разных условиях загрязнения	85
<i>Кольчугин А.Ю., рук. Сулыненков И.Н.</i> О результатах расчета надежности схем электроустановок	86
<i>Козлов А.П., рук. Новоселов Е.М.</i> Применение нейронных сетей для диагностики асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций	87
<i>Хабарин М.Р., рук. Лапшин В.М.</i> Способы регулирования производительности рабочих машин	88
<i>Железняков Р.А., рук. Лапшин В.М.</i> Режимы работы нейтрали в сетях 6/10 кВ собственных нужд электрических станций и подстанций сравнительный анализ	89
<i>Алтухов М.Ю., рук. Михаил Ю.А.</i> Моделирование межвитковых замыканий в обмотке статора асинхронных электродвигателей собственных нужд	90
<i>Козлов Н.П., рук. Савельев В.А.</i> Исследование процессов развития витковых замыканий и разработка мероприятий по их предотвращению	91

Секция 19. Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

<i>Груздев Д.Н.</i> Эксплуатация силовых трансформаторов электрических станций на основе риск-ориентированного подхода	93
<i>Боголюбова П.В., Смирнов А.О., рук. Вихарев А.В.</i> Разработка плоского индуктора для магнитно-импульсной обработки материалов	94
<i>Михайлова К.Д., рук. Словесный С.А.</i> Определение трекингоэрозионной стойкостиполимерных стержневых изоляторов среднего напряжения	95
<i>Чикалева А.М., рук. Мельникова О.С.</i> Влияние стрелы провиса на величину индуцированного тока в грозозащитных тросах линий электропередачи	96
<i>Гуцин С.В., Чикалева А.М., рук. Воробьев С.В.</i> Влияние диэлектрических шайб на равномерность распределения напряженности в многоэлектродной конструкции	97
<i>Боголюбова П.В., Смирнов А.О., рук. Вихарев А.В.</i> Разработка цилиндрического индуктора для магнитно-импульсной обработки материалов	98
<i>Шпак Г.А., рук. Шадриков Т.Е.</i> Принципиальные схемы генераторов импульсного напряжения	99

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ВОСЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕСЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2023»

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. 6,1.
Тираж 100 экз. Заказ № .
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ