

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

Академия электротехнических наук РФ



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА «ЭНЕРГИЯ-2022»

**СЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 11 - 13 мая 2022 года

ТОМ 3

ИВАНОВО

ИГЭУ

2022

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2022»: материалы конференции. В 6 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2022. – 159 с.

ISBN 978-5-00062-528-6

ISBN 978-5-00062-523-1 (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., Козлова М.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.**

С.В. Чучев, студ.;
рук. Е.А. Миронова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

НЕОБХОДИМОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 4-ГО РАЙОНА БОЛЬШОГО МОРСКОГО ПОРТА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Четвертый район Большого морского порта Санкт-Петербург – промышленный кластер значительной площади, требующий бесперебойного круглосуточного электроснабжения. В последние годы, с увеличением объемов перевалки грузов и повышением требований к качеству электроэнергии, остро встал вопрос реконструкции.

Высоковольтное оборудование устарело: большинство подстанций и РУ установлено в 80-90-х годах прошлого века. Трансформаторы - масляного типа, высоковольтная защита представлена предохранителями (плавкими вставками), коммутация осуществляется вручную (разъединителями); релейная защита не соответствует современным требованиям (отсутствует защита от перенапряжений, максимальная токовая защита и т.д.); автоматические выключатели устарели и не обеспечивают защиту даже от КЗ. Отсутствует система компенсации реактивной мощности электрооборудования.

Низковольтное оборудование устарело и лишь частично заменено на современное. Необходима комплексная замена всего коммутационного оборудования, а также перекладка кабельных линий.

Необходимость комплексной модернизации продиктована неоднократными отказами оборудования, постоянной необходимостью ремонта, уменьшению интервалов плановых ТО. Также критично устарела система учета как коммерческого, так и технического учета электроэнергии. Необходимо внедрение системы АСКУЭ.

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

ПАРАМЕТРЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СХЕМАХ ЗАМЕЩЕНИЯ

Параметры трансформатора в схемах замещения могут быть определены на основе заводских данных (это относится, главным образом, к индуктивностям) либо измерены (емкости).

При определении индуктивности и активного сопротивления следует помнить, что они в значительной мере зависят от частоты. При частотах, близких к частотам собственных колебаний, индуктивности рассеяния обмоток уменьшаются примерно до 80% значения этих же индуктивностей при 50 Гц; активные же сопротивления могут возрастать почти на порядок [1].

Зависимость постоянной времени от частоты для составляющих прямой последовательности крупных трансформаторов показана на рис. 1. Эта зависимость указывает на быстрое затухание составляющих напряжения в переходном процессе либо тока больших частот, что подтверждает правомочность упрощений, приводящих схему трансформатора к одночастотному контуру.

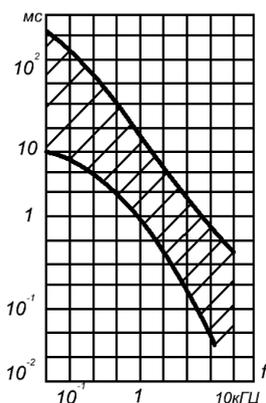


Рис. 1. Зависимость постоянной времени для составляющих прямой последовательности больших трансформаторов от частоты

Библиографический список

1. **Китаев В.Е.** Трансформаторы. Учеб. пособ. для проф. техн. учеб. заведений и подгот. рабочих на производстве. – 3-е. изд. испр. – М.: Высш. шк., 1974. – 207 с.: ил.

*М.Н. Хабибуллин; И.Г. Нуртдинов, студ.;
рук. Л.И. Абдуллин, к.т.н.
(АО «Сетевая компания», г. Казань)*

СНИЖЕНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ УЧЕТА

Одна из основных задач при передаче электроэнергии состоит в определении экономически обоснованного уровня коммерческих и технических потерь. Соответственно, снижение потерь электроэнергии в электрических сетях до нормативного уровня является важным направлением энергосбережения. С целью снижения коммерческих потерь с 2018 г. АО «Сетевая компания» организовала работу по установке интеллектуальных приборов учета (ПУ) потребителям электрической энергии в Респ. Татарстан. Данные ПУ защищены от хищения электрической энергии и имеют электронные пломбы, датчики магнитного поля, журналы событий, защиту информации от изменения, контроль схемы включения. В программном обеспечении Пирамида 2.0, куда интегрированы ПУ, идет сбор данных со всех точек учета конечных потребителей, так с ПУ, установленных в КТП 10/0,4 на вводе и отходящих фидерах. После чего проводится работа по составлению баланса и определения фидера с наибольшими потерями. Длина фидера может визуализироваться в диапазоне от 100 до 700 метров. Для более точно локализации места хищения электроэнергии осуществляется анализ отклонения напряжения и возрастания нагрузки, данных полученных с ПУ на искомом фидере. Представленный метод снижения коммерческих потерь электроэнергии показывает перспективность применения интеллектуальных технологии. Однако, как показал практический опыт эксплуатации, отдельно взятое организационное или техническое мероприятие по обнаружению предотвращению и устранению коммерческих потерь электроэнергии не представляет ощутимого эффекта. Их применение должно быть комплексным с одновременным использованием приборного парка цифровых ПУ.

Библиографический список.

1. **Артемьев А.В., Савченко О.В.** Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – С.280.:ил.
2. **Железко Ю.С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – С.456.
3. **Зиганшин А.Г., Михеев Г.М.** Цифровизация систем учета электроэнергии. Вестник Чувашского университета, 2020. №3

*А.Г. Кощеева, Г.К. Морозенко, студ.;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ВЭС И СЭС

В декабре 2021 года производство электроэнергии ветряными электростанциями (ВЭС) и солнечными электростанциями (СЭС) составило 481,3 млн кВт·ч и 48,9 млн кВт·ч соответственно. Общая мощность составила 0,6 ГВт [1]. Для снижения капитальных вложений на строительство ВЭС (СЭС) предлагается применять технические решения, которые позволяют упростить схемы электрических соединений для данного типа электростанций.

Целью данной работы является выявление технической и экономической целесообразности упрощения структурной схемы подстанции выдачи мощности (ПВМ) ВЭС (СЭС).

В качестве рассмотренных подходов к выбору количества и мощности трансформаторов ПВМ ВЭС (СЭС) было выбрано три варианта согласно [2]: Вариант №1 – два трансформатора с взаимным резервированием отказов. Отказ одного из трансформаторов не ограничивает выдачу мощности ВЭС (СЭС). Вариант №2 – два трансформатора без резервирования отказов. Отказ одного трансформатора приводит к снижению выдачи мощности ВЭС (СЭС) в 2 раза. Вариант №3 – один трансформатор без резервирования отказов. Отказ трансформатора приводит к отключению ВЭС (СЭС).

ВЭС устанавливается мощностью 60 МВт и номинальным коэффициентом мощности 0,9. Для варианта №1 необходимо установить 2 трансформатора номинальной мощностью 63 МВА, для варианта №2 – 2 трансформатора по 40 МВА, для варианта №3 – 1 трансформатор номинальной мощностью 63 МВА.

Таблица 1. Сравнение результатов

	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Итоговые затраты, млн. руб.	72,29	58,59	42,08

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1, показали, что наиболее экономичным видом структурной схемы ПВМ является вариант №3. Его затраты на 71,79% меньше варианта №1 и на 39,23% варианта №2.

Библиографический список

1. Единая энергетическая система России: промежуточные итоги. Декабрь 2021 года. – М., 2021. – 31с.
2. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. ОАО «ФСК ЕЭС», 2007.

Д.Ю. Лосев, соискатель PhD, асс.;
рук. Аллаев К. Р.
(ТашГТУ, г. Ташкент)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ДЛЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЭС

В современных условиях функционирования электроэнергетики происходит усложнение задачи управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) и их объединений. Среди множества задач управления можно выделить задачу автоматического краткосрочного прогнозирования параметров режима в целях противоаварийного управления ЭЭС.

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

Известно, что основной задачей противоаварийной автоматики (ПА) является предотвращение общесистемных аварий, сопровождающихся нарушением электроснабжения потребителей на значительной территории. ПА действует непосредственно в аварийных режимах и специально предназначена для ограничения развития и прекращения быстропротекающих аварийных процессов в энергосистеме, когда действие других автоматических систем оказывается недостаточным, а вмешательство персонала – невозможным и неэффективным [1].

Для сохранения надёжности и устойчивости энергосистем при возникновении аварийных режимов применяются такие виды ПА как специальная автоматика отключения нагрузок (САОН), автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и другие. При этом недостаточность объёмов нагрузок, подведённых под воздействие ПА, может послужить причиной нарушения устойчивости ЭЭС, а излишние объёмы – увеличения недоотпуска электроэнергии потребителям.

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

Библиографический список

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. / Под общей редакцией академика А.У. Салимова. – Т.: Fan va tehnologiyalar, 2021. – 957 с.

*Г.К. Абдуманнопов, маг.; Д.Ю. Лосев, соискатель PhD, асс.;
рук. Аллаев К. Р.
(ТашГТУ, г. Ташкент)*

ОСОБЕННОСТИ МГУА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭЭС

Как известно, методы прогнозов подразделяются на формализованные, эвристические и комплексные. Метод группового учёта аргументов (МГУА) относится к формализованным методам прогнозирования параметров режима ЭЭС. МГУА свободен от недостатков, присущих моделям, которые получены методом классического анализа.

МГУА отличается от других методов тем, что, используя идею эвристической самоорганизации малой выборки экспериментальных данных, позволяет выбрать вид аппроксимирующей функции и входящих в нее аргументов.

Сущность метода заключается в постепенном отборе – переборе уравнений прогнозирования, отвечающих условиям требуемой точности результатов заданным экспериментальным данным.

Для построения математической модели прогнозирования параметров режима ЭЭС оптимальной сложности с помощью МГУА исходная экспериментальная выборка делится на две последовательности – обучающую (А) и проверочную (В). Обучающую последовательность используют в обычном регрессионном анализе для оптимизации оценок коэффициентов уравнения с помощью критерия минимума средней квадратической погрешности. Проверочная последовательность служит для выбора числа членов и конструкции уравнения регрессии минимизацией критериев селекции. Перебирая модели от самой простой к более сложным, компьютер находит модель оптимальной сложности, единственную для каждого внешнего критерия. Поэтому вопросу выбора внешнего критерия придается особое значение, т.е. внешний критерий должен соответствовать типу решаемой задачи моделирования.

Таким образом, структура МГУА позволяет получить сколь угодно точное определение коэффициентов результирующего полинома, т.е. полного совпадения модели с изучаемым процессом в точках интерполяции и доверительного определения точек для прогнозирования.

Библиографический список

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

Д.А. Иванов; Н.С. Питерский, студ.;
рук. С.А. Шунаев, ст. препод.
(СФМЭИ, г. Смоленск)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ ПОДВЕСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В рамках разработки системы телеметрического контроля подвесной изоляции [1] одним из ключевых вопросов является задача выбора протокола передачи данных. Исходя из расположения передатчиков на ЛЭП, к ним формируется ряд определенных требований: способность работать в полях высокой напряженности, высокая помехозащищенность и низкое потребление энергии, большой срок эксплуатации, стойкость к изменениям погодных условий, а также осуществление качественной и бесперебойной передачи сигналов на большие расстояния, с большой скоростью без потери пакетов данных.

Среди многообразия существующих протоколов беспроводной связи, для данных специфических условий, по мнению авторов, наиболее подходят технологии *LoRa* и *ZigBee*. В рамках работы проводился структурный и сопоставительный анализ этих двух технологий. При этом следует отметить, что основанием для применимости этих протоколов является их высокая помехозащищенность, надежность передачи данных и безопасность.

Вместе с тем слабой стороной технологии *ZigBee* является: невысокая проникающая способность в городской застройке, малая дальность (около 100 м), отсутствие единой программно-аппаратной платформы для разработки сложных приложений, в свою очередь *LoRa* лишена подобных недостатков, поскольку имеет большую дальность (2.5 км в городе, до 10 км вне города), высокую проникающую способность в городской застройке, при низком энергопотреблении. Однако уместным будет заметить, что технология *LoRa* имеет более низкую скорость передачи по сравнению *ZigBee*, а также производится только одной компанией монополистом.

Исходя из анализа и сопоставления технологий *LoRa* и *ZigBee* по основным характеристикам, наиболее перспективной является технология *LoRa*, в связи с ее высокой проникающей способностью и большей дальностью.

Библиографический список

1. Андреенков Е.С., Шунаев С.А. Разработка конструкции датчика напряжения для системы диагностики подвесной изоляции линий электропередач 110 кВ // Вестник МЭИ. 2017. № 6. – С. 54-59.

*С.А Тиллаев, соискатель PhD, асс.;
рук. Хамидов Ш.В. (ТашГТУ, г. Ташкент)*

ЗАДАЧИ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В СЛОЖНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ

Новые тенденции в мире, связанные с внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистемах, также затронули объединенную энергосистему Центральной Азии (ОЭС ЦА) и поставили перед ней новые задачи, такие как пересмотр методики регулирования мощности в энергосистеме и обеспечение баланса между генерацией и потреблением. Учитывая прерывность генерации ВИЭ, эти задачи являются актуальными и требуют тщательного изучения.

ОЭС ЦА была сформирована в 60-х годах прошлого века как единый энергетический организм, направленный на наиболее рациональное использование топливно-энергетических и водных ресурсов региона, и до сих пор успешно справляется с возложенными на неё задачами. Прогнозы до 2050 года показывают, что доля ВИЭ в мировом производстве электроэнергии составит около 30%. В Узбекистане и Казахстане также активно ведутся работы по внедрению ВИЭ, к 2035 году на них прогнозируется выработка электроэнергии порядка 10 % от общего потребления энергосистем [1].

Как мировая практика показывает, внедрение в энергосистему малый объем ВИЭ не требует специальных устройств регулирования, например, если доля вырабатываемой энергии ВИЭ составляет до 15 % от общей выработки, то регулирующий возмощность ЭС достаточно для покрытия прерывности ВИЭ. А при увеличении доли вырабатываемой энергии необходимо компенсировать 1:1.

Имеются разные способы регулирования мощности в энергосистеме с помощью накопителей энергии. Это применение аккумуляторных батареи, маховиков, суперконденсаторов и так далее. Но в условиях Центральной Азии самыми оптимальными и эффективными являются строительство гидроаккумулирующие электрические станции (ГАЭС) или воздушные электрические станции (ВАЭС), которые могут участвовать в долгосрочных регулированиях мощности.

Библиографический список

1. Тиллаев С.М. Анализ интеграции возобновляемых источников энергии в объединенную энергосистему Центральной Азии. – Т.: Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2020. №3-4. – С. 258-261

*Д.В. Егуданов, маг.,
рук. О.А. Филина, ст. препод.
(КГЭУ, г. Казань)*

ДИАГНОСТИКА СТЕРЖНЕЙ ПОСЛЕ УКЛАДКИ В ПАЗЫ И РАСПАЙКИ

После установки стержней (катушек) в пазы и их монтажа производится повторное измерение характеристик электроразрядной активности. Целью и результатом, которых является выявление дефектов и повреждений при проведении монтажных работ. Об этом может свидетельствовать неизменность характеристик частичных разрядов обмотки и уровень коронной активности. Критерием успешности проведенного ремонта также является отсутствие новых дефектов или их допустимый уровень.

На рис. 1 и рис. 2 приведены иллюстрации различных фрагментов турбогенератора при проведении послеремонтных испытаний.



Рис. 1. Коронная активность различных фрагментов (в пределах выделенной квадратом области) уложенных в пазы стержней при испытаниях обмотки статора ТВВ-800 после ремонта. Испытания от постороннего источника при 31кВ (разрядная активность в области выхода 9-стержня из паза)



Рис. 2. Ультрафиолетовграмма фрагмента поверхности лобовой части в зоне выхода трубок водяного охлаждения (вид со стороны возбудителя) при 31 кВ (область 24 паза с повышенным уровнем поверхностного загрязнения) ($N(q) - 1938$ /мин)

При проведении испытаний статора в сборе оказалось возможным проводить обнаружение данным методом разрядов недоступных для прямого оптического визирования, что, по-видимому, связано с процессом выброса ионизованного газа из области разряда в зону наблюдения, где происходит рекомбинация возбужденных молекул с излучением ультрафиолета.

*Д.В. Шилкин, студ.; Г.Д. Маслова;
рук. И.Н. Маслов, к.т.н., доц,
(КГЭУ, г. Казань)*

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ УЧЕТА В БОРЬБЕ С ХИЩЕНИЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В борьбе с хищениями электроэнергии способствует широкое применение интеллектуальных приборов учета (ИПУ). Так переход на интеллектуальные счетчики, планируется к 2023 году. В РТ уже в 2020 году проведены работы по установке ИПУ в более тысячи населенных пунктах [1,2]. За 2020 г. смонтировано с завершением ПНР более 140 тыс. ИПУ. В НИР рассмотрен поселок, который стихийно рос, начиная с 1954 г., количество объектов индивидуального жилищного строительства составляет 523 на 2019 г. Как электросетевая инфраструктура, так и счетчики электроэнергии, были весьма старые. В результате в поселке наблюдались низкое качество [3] и большие коммерческие потери электроэнергии [1]. На основании выполненных расчетов по экономической выгоде от внедрения ИПУ данный поселок попал под модернизацию электрических сетей с одновременной установкой АСКУЭ. В рамках модернизации провода марки АС были заменены на современные провода марки СИП, а также установлены ИПУ. Экономический эффект от внедрения ИПУ приблизился к 2,7 млн. руб. в год за счет снижения коммерческих потерь. Установка системы обошлась в 11,2 млн. руб. Срок окупаемости проекта составит 3,7 года. Созданный прецедент наглядно демонстрирует возможности ИПУ в борьбе с хищениями электроэнергии. Важно отметить, ИПУ имеют свойство самокупаться в случае, если установка их возложена на сетевые компании.

Библиографический список

1. **Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я., др.** Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. – С. 62-71.
2. **Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И.** Энерго-ресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 1. – С. 156-166.
3. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С.** Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. – С. 40-45.

К.Р. Крайнов, студ.;
рук. А.А. Юдина
(СамГТУ, г. Самара)

ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВИВШИМСЯ И ПЕРЕХОДНЫМ РЕЖИМАМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Переходные режимы электрических систем представляют собой электромеханические процессы и завершаются каким-либо установившимся режимом, характер которого заранее предсказуем. В нормальном рабочем режиме должны быть реализованы следующие критерии:

- качество – снабжение потребителей электроэнергией с нормативными показателями, которые соответствуют ГОСТ;
- надежность – получение потребителями электроэнергии в соответствии с нормативной категорией;
- экономичность – потребители должны снабжаться электроэнергией при возможных меньших затратах ресурсов и средств на её производство и последующую передачу.

Условия существования установившегося режима связаны с балансом мощности в электрической системе. Активная и реактивная мощности, вырабатываемые генераторами системы P_G и Q_G , должны быть соответственно равны сумме мощности нагрузок P_H и Q_H и потерь мощности, рассеиваемой во всех элементах системы, ΔP и ΔQ :

$$P_G = P_H + \Delta P = P; \quad Q_G = Q_H + \Delta Q = Q.$$

Баланс активной и реактивной мощностей генерации нарушается в переходных процессах. В уравнении баланса мощности появляются ещё два слагаемых, отражающие свободные изменения энергии:

$$P = P_H + \Delta P + \frac{d(\Delta W_{эл.м.})}{dt} + \frac{d(\Delta W_{мех.})}{dt},$$

где $\Delta W_{эл.м.} = W_{(эл.м.)H} - W_{(эл.м.)G} + \Delta W_{эл.м.потерь}$ – изменения электромагнитной энергии во всех элементах системы; $\Delta W_{мех.}$ – изменения механической энергии, запасённой во вращающихся массах машин системы [1].

Библиографический список

1. Колесник, Г. П. Переходные электромеханические процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие / Г. П. Колесник; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 116 с.

В.Р. Рафигов, асп.;
И.Е. Иванов, к.т.н.;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ «MATLAB»

Идентификация параметров моделей синхронных генераторов (СГ) и устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ) с применением синхронизированных векторных измерений (СВИ) требует тщательного всестороннего анализа различных подходов и инструментов, которые могут быть использованы для решения данной задачи. В отличие от верификации синхронных параметров по данным установившихся режимов, для определения переходных и сверхпереходных сопротивлений, а также постоянных времени контуров СГ, требуется рассматривать переходные процессы в электроэнергетических системах (ЭЭС), вызванные различного рода возмущениями. Для параметрической идентификации моделей СГ и устройств АРВ представляется возможным использование различных инструментов и алгоритмов оптимизации. Одним из перспективных подходов к верификации модели, применяемых авторами, является концепция «playback» – итеративная «подгонка» параметров модели под архив измерений. При этом необходимо учитывать, что результат параметрической идентификации также зависит от корректного воспроизведения первичного процесса, данные которого были получены с устройств СВИ.

Таким образом, *целями исследований* являются анализ подходов к верификации параметров моделей СГ и устройств АРВ с помощью инструментов оптимизации «MATLAB/Simulink», а также подтверждение возможности представления параметрической идентификации в виде оптимизационной задачи. Исследования, необходимые для решения поставленных задач, проводились посредством вычислительных экспериментов с применением встроенных инструментов среды «Simulink» программного комплекса «MATLAB».

Анализ *результатов исследований* показал принципиальную возможность решения задачи параметрической идентификации моделей СГ и устройств АРВ по данным переходных режимов ЭЭС.

*В.Р. Рафиков, асп.; И.Е. Иванов, к.т.н.;
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ

В [1] показано, что для идентификации синхронных параметров синхронных генераторов (СГ) достаточно рассматривать только установившиеся режимы (УР). Вместе с тем, для определения переходных и сверхпереходных сопротивлений, постоянных времени контуров СГ, а также настроечных коэффициентов устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ), необходимо использовать данные переходных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС). Стоит отметить, что характер рассматриваемых переходных процессов, их количество, конфигурация сети, корректность математических моделей СГ и устройств АРВ, а также наличие погрешностей измерений, будут оказывать существенное влияние на результат параметрической идентификации.

Целями исследований являются моделирование и последующий анализ переходных процессов в трехмашинной ЭЭС, а также формирование совокупности различного рода переходных режимов, которые необходимы для успешной верификации моделей СГ и устройств АРВ. Вычислительные эксперименты проводятся с использованием среды «Simulink» программного комплекса «MATLAB».

Предварительный анализ *результатов исследований* показал, что совокупность измерений по данным серии электромеханических и электромагнитных процессов, возникающих в результате различного рода возмущений, может обеспечить успешную идентификацию параметров моделей СГ и устройств АРВ.

Библиографический список

1. Рафиков В.Р., Иванов И.Е., Братолобов А.А. Разработка методов идентификации параметров синхронного генератора по синхронизированным векторным измерениям в установившемся режиме // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XI международной научно-технической конференции. – Ставрополь: СКФУ, 2020. – С. 319-323.

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛЭП СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПО СИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕКТОРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Оснащение линий электропередачи сверхвысокого напряжения (ЛЭП СВН) устройствами синхронизированных векторных измерений (УСВИ) открывает новые варианты решения неизменно актуальной задачи электроэнергетики – определения места повреждения (ОМП). Несмотря на то, что изначально УСВИ были предназначены, главным образом, для регистрации режимных параметров электромеханических переходных процессов (ПП), применение быстродействующих фильтров позволяет фиксировать токи и напряжения во время быстротекущих электромагнитных ПП, таких как короткие замыкания (КЗ) на ЛЭП СВН.

В настоящее время разработано достаточно много «формульных» методов двустороннего ОМП по параметрам аварийного режима (ПАР), однако точность локации КЗ при наличии погрешностей измерений не всегда удовлетворительна. Кроме того, существуют очевидные преимущества применения УСВИ в качестве регистратора ПАР [1].

В работе поставлена и решена задача разработки методов ОМП, использующих токи и напряжения от УСВИ (в том числе – доаварийные), а также учитывающих неопределенность параметров ЛЭП СВН. Рассмотрены различные формулировки возникающей при этом оптимизационной задачи, а также осуществлено тестирование предложенных методов на верифицированной модели электрической сети. Результаты экспериментов, выполненных с использованием программных комплексов «АТР/АТРDraw» и «МАТЛАВ», свидетельствуют о перспективности предложенного подхода.

Библиографический список

1. I.E. Ivanov, Y.A. Umnov, D.M. Dubinin, and A.V. Zhukov, "Fault Location on 500 kV Overhead Transmission Lines through Real Synchrophasor Data," in Proc. 2021 4th International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), – pp. 1–17.

В.А. Катюшин, маг.;
рук. И.Е. Иванов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ОСОБЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

Идентификация фактических значений параметров элементов электроэнергетической системы (ЭЭС) является известной и актуальной задачей электроэнергетики. Установка устройств синхронизированных векторных измерений (СВИ) на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения (ЛЭП СВН) открывает перспективы уточнения продольных сопротивлений и ёмкостных проводимостей ЛЭП практически «в темпе процесса». К настоящему времени предложены различные методы расчёта параметров ЛЭП на основе СВИ [1 и др.]. При этом практически все методы ориентированы на использование СВИ нормальных установившихся режимов, а следовательно, предоставляющих возможность определения только параметров прямой последовательности ЛЭП. Кроме того, точные выводы о погрешностях методов в реальных условиях функционирования ЭЭС сделать невозможно в силу отсутствия «эталонных» значений идентифицируемых сопротивлений и проводимостей ЛЭП.

Учитывая изложенное, в настоящем исследовании поставлены следующие задачи: 1) разработка и проверка на имитационных моделях методов для расчёта «эталонных» параметров ЛЭП СВН с помощью «искусственных» режимов – холостого хода и короткого замыкания на приёмном конце ЛЭП; 2) разработка методов идентификации параметров нулевой последовательности ЛЭП СВН в особых режимах, таких как бестоковая пауза в цикле однофазного автоматического повторного включения. Эксперименты осуществлены в программном комплексе «MATLAB»; при этом для решения второй задачи задействованы реальные архивы СВИ. Полученные результаты служат основой для совершенствования методов идентификации параметров ЛЭП СВН на базе векторных измерений.

Библиографический список

1. **I. Ivanov, D. Dubinin and A. Zhukov**, "Overhead Line Parameter Estimation Through Synchrophasor Data In Near Real-Time," 2019 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), 2019. –pp. 1-16, doi: 10.1109/RPA47751.2019.8958451.

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

О ВЛИЯНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ НА РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В настоящее время методика расчета технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям 10(6)/0,4 кВ предполагает учет неравномерности графика нагрузки и, соответственно, расчет коэффициента формы, согласно [1].

Цель данного исследования – проверить значимость влияния коэффициента формы на расчет потерь электроэнергии в городских распределительных сетях. Исходными данными исследования являлся график нагрузки участка электрической сети 10(6)/0,4 кВ.

Суть работы заключалась в том, чтобы сравнить значения коэффициентов форм летнего и зимнего сезона, когда значения нагрузок существенно отличаются между собой по ряду причин.

На основании проведенного исследования получены следующие выводы:

- коэффициенты формы практически одинаковы. Результаты отличаются на десятитысячные доли;
- коэффициенты формы выходных дней практически не отличаются от коэффициентов форм рабочих дней;
- коэффициент дисперсии показал, что полученные значения незначительно отклоняются от средней величины в данной выборке. Соответственно, разброс данных мал.

Таким образом, можно отметить, что значения коэффициентов формы малы. Причина несущественных значений коэффициентов формы обусловлена малой изменчивостью графика нагрузки. Это характерно для большинства сетей 10(6)/0,4 кВ. Таким образом, это дает основание утверждать, что они не оказывают существенное влияние на расчет потерь электроэнергии. Соответственно учет неравномерности графика нагрузки при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях не имеет практического смысла.

Библиографический список

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

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

ВЛИЯНИЕ ДЕМПФЕРНЫХ КОНТУРОВ НА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ САМОРАСКАЧИВАНИЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Самораскачивание в практике работы энергосистем может возникнуть у небольших слабо нагруженных синхронных машин (СМ), работающих на сеть со значительным активным сопротивлением.

Аналитическое исследование нарушения этого вида статической устойчивости по методу первого приближения [1] связано с рядом допущений.

В работе численно решаются полные нелинейные уравнения СМ в записи через ЭДС с использованием комплекса MATLAB. Показано, что наличие демпферных контуров (ДК) в синхронном генераторе снижает вероятность возникновения параметрического самораскачивания.

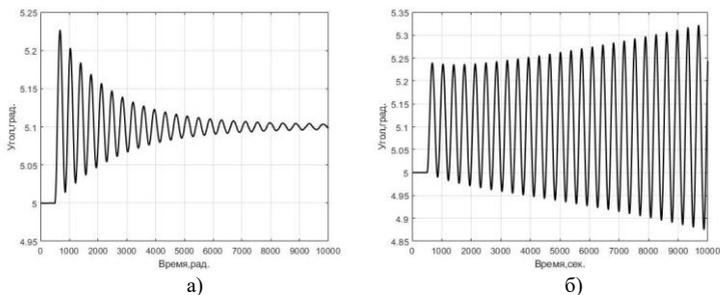


Рис. 1. Зависимость угла положения ротора от времени с демпферными контурами (а) и без демпферных контуров (б)

Также показано, что:

- увеличение постоянной инерции ротора T_j сужает область самораскачивания.
- уменьшение постоянной времени ДК по продольной оси T_{1q0} и увеличение постоянной времени ДК по поперечной оси T_{1d0} снижают вероятность возникновения самораскачивания.

Библиографический список

1. **Веников, В.А.** Самовозбуждение и самораскачивание в электрических системах: [учеб. пособ.] / В. А. Веников, Н.Д. Анисимова, А.И. Долгинов, Д.А. Фёдоров. — М.: Вышп. шк., 1964. — 197 с.

А.М. Некрасова, студ.;
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB

Для изучения режимов работы преобразователя постоянного тока в программном комплексе MATLAB сформирована ее модель. Данная модель позволяет анализировать электромагнитные процессы, протекающие в преобразователе при преобразовании переменного тока в постоянный, и приводит к получению основных характеристик преобразователя постоянного тока [1].

Программный комплекс MATLAB позволяет проводить вычислительные эксперименты, исследуя режимы работы преобразователя постоянного тока с помощью регулирования определенных параметров.

В данной работе приведена математическая модель преобразователя постоянного тока, которая позволяет изучать различные характеристики преобразователя в режиме малых токов, основном рабочем режиме, перегрузочном режиме, режиме, близкому к короткому замыканию на полюсах выпрямителя.

Рассмотрены и проанализированы временные диаграммы напряжений и токов преобразователя в различных режимах. Изучено влияние угла открытия вентилей α и угла коммутации γ на указанные выше характеристики.

Научные и практические результаты работы могут быть использованы в учебном процессе для изучения основных характеристик преобразователя постоянного тока при различных режимах работы.

Библиографический список

1. **Рыжов Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 488 с.
2. **Электроэнергетические системы** в примерах и иллюстрациях: учеб. пособ. / В.А. Венников, Ю.Н. Астахов, В.В. Ежков и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с. ил.

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

АНАЛИЗ АРХИВОВ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 500 КВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВАРИЙНЫХ ОСЦИЛЛОГРАММ

Традиционно считается, что устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) производят неточные измерения параметров электромагнитных переходных процессов (ПП), таких как короткие замыкания (КЗ). В частности, в [1] отмечается, что расчетные значения векторов напряжения и тока, полученные от УСВИ во время КЗ, не подлежат рассмотрению как «не отражающие какой-либо режим энергосистемы». Вместе с тем результаты исследований, представленные в [2], свидетельствуют о том, что данные от УСВИ потенциально могут применяться для решения задачи определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) сверхвысокого напряжения, а следовательно, УСВИ способны достаточно точно фиксировать вектора токов и напряжений во время КЗ.

Данная работа посвящена анализу массивов синхронизированных векторных измерений, записанных при КЗ на ВЛЭП 500 кВ в Единой энергетической системе Российской Федерации (ЕЭС РФ), с использованием соответствующих аварийных осциллограмм. Все вычислительные операции осуществлены в программном комплексе *MATLAB*.

Во всех рассмотренных случаях требовалось определить, успевают ли фильтры УСВИ за время существования КЗ достичь «установившегося» уровня тока КЗ. Полученные результаты свидетельствуют, что УСВИ класса «М», установленные в ЕЭС РФ, корректно фиксируют значение периодической составляющей тока КЗ; при этом насыщение измерительных трансформаторов в рассмотренных сценариях не прослеживается. Для объективных выводов требуется анализ дополнительных случаев КЗ с наличием архивов от УСВИ и осциллограмм ПП.

Библиографический список

1. **Phadke A.G.**, Thorp J.S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. – Springer, 2008.
2. **I.E. Ivanov**, Y.A. Umnov, D.M. Dubinin, and A.V. Zhukov, "Fault Location on 500 kV Overhead Transmission Lines through Real Synchrophasor Data," in Proc. 2021 4th International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), – pp. 1–17.

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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМОГО УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НА ОБЛАСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Применение на линиях электропередачи управляемых устройств продольной компенсации способно существенно увеличить пропускную способность линии [1]. Кроме того, генераторы на электрических станциях должны быть оборудованы устройствами автоматического регулирования возбуждения для поддержания напряжения в электрической системе, распределения реактивной мощности, а также для повышения статической и динамической устойчивости электрической системы [2]. Так как эти устройства оказывают влияние на статическую устойчивость, то их действия при одновременной работе в электроэнергетической системе должны быть согласованы.

Целью данной работы является формирование метода и его анализ при выборе параметров автоматического регулирования возбуждения и управляемого устройства продольной компенсации с точки зрения статической колебательной устойчивости.

В работе рассматривалась модель простейшей электроэнергетической системы, состоящей из 3 турбогенераторов с автоматическим регулированием возбуждения, работающих на шины бесконечной мощности через повышающий трансформатор и двухцепную линию электропередачи 220 кВ с управляемым устройством продольной компенсации.

В ходе исследования построены области статической колебательной устойчивости для разных степеней начальной компенсации, а также пространственная область устойчивости. При выборе коэффициентов регулирования, лежащих внутри этих областей, гарантируется статическая колебательная устойчивость.

Библиографический список

1. **Веников В. А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985. – 536 с.
2. **Правила** устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Изд-во: Эксмо, 2019, –500 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТЕЙШЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АВТОМАТИЗАЦИЕЙ РАСЧЕТОВ

Исследование динамической устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) представляет сложную задачу, связанную с необходимостью численного интегрирования уравнений движения роторов синхронных генераторов (СГ) и многовариантным анализом схемно-режимных ситуаций. В настоящей работе рассматривается простейшая ЭЭС «СГ – электрическая связь – шины бесконечной мощности» и ставится задача автоматизации всех расчетных алгоритмов, необходимых для оценки динамической устойчивости ЭЭС, с последующими итеративными вычислениями при различных возмущающих воздействиях (ВВ). В качестве ВВ рассматриваются все виды коротких замыканий (КЗ) на воздушной линии (ВЛ) электропередачи; при этом точка КЗ автоматически «пробегаёт» всю длину ВЛ. Вычислительные алгоритмы реализованы в виде функций в программном комплексе *MATLAB*, а для верификации используются тестовые сценарии, описанные в [1].

Для осуществления итеративных расчетов автоматизированы следующие шаги:

- вычисление величины шунта КЗ для произвольной точки КЗ на рассматриваемой ВЛ;
- формирование матрицы узловых проводимостей для аварийного режима с последующим исключением «статических» узлов;
- решение уравнения движения ротора СГ модифицированным методом Эйлера [1];
- определение предельного времени существования КЗ по условию обеспечения динамической устойчивости.

Результаты выполненных вычислительных экспериментов создают основу для формирования более сложных расчетных моделей, необходимых для анализа динамической устойчивости многомашинной ЭЭС.

Библиографический список

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

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

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ТУЛЬСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ПРИСОЕДИНЕНИИ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА

Расчеты установившихся режимов являются основными при решении задач, связанных с проектированием и эксплуатацией электрических систем. Результаты этих расчетов используются при планировании режимов и оперативном управлении ЭЭС, а также служат базой для выполнения оптимизации, анализа устойчивости и надежности.

В связи с этим целесообразно проанализировать с помощью программного комплекса RastrWin напряжение на объектах электроэнергетики, а также загрузку элементов сети при присоединении энергопринимающих устройств литейно-прокатного комплекса.

В данной работе были рассмотрены различные варианты присоединения данного потребителя, кроме того были выявлены их преимущества и недостатки.

В работе выполнены электрические расчеты различных режимов работы сети 110 кВ и выше в зоне влияния новой подстанции. Расчеты представлены на 2022 и 2026 года. Электрические режимы выполнены для нормальных и ремонтных схем, а также послеаварийных режимов.

Полученные результаты работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке квалифицированных кадров для электроэнергетической области.

Библиографический список

1. **Методические** рекомендации по проектированию развития энергосистем. СО 153-34.20.118-2003.
2. **Методические** указания по устойчивости энергосистем, утвержденные Приказом Минэнерго России от 03.08.2018 № 630.
3. **Рекомендации** по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше. СО 153-34.20.186-2003.
4. **Правила** устройства электроустановок, – 7-е изд.
5. **Приказ** Министерства энергетики РФ от 17 января 2019 г. № 10 «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства».
6. **Приказ** Минэнерго России от 08.02.2019 N 81. Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики.

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАСПОРТНЫХ ДАНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ПРЕДМЕТ РАЗБРОСА РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИХ МОДЕЛЕЙ

Точные значения параметров моделей синхронных генераторов (СГ) необходимы для расчета установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС), электромагнитных и электромеханических переходных процессов, определения пределов статической и динамической устойчивости. На практике в расчетных моделях принято задаваться паспортными значениями параметров СГ. В действительности фактические параметры контуров СГ (сопротивления обмоток, постоянные времени) могут отличаться от соответствующих паспортных значений из-за изменения характеристик СГ в процессе эксплуатации, устаревших или неточных паспортных данных и по другим причинам. Наличие существенных отличий между принимаемыми при моделировании и фактическими параметрами СГ понижает достоверность информационной модели ЭЭС, способствует снижению надежности функционирования энергосистемы и может спровоцировать системные аварии. Помимо этого, для СГ одного и того же типа нередко имеются несколько различных паспортов, в которых значения одноименных параметров могут оказаться неидентичными.

Исходя из сказанного, *целью настоящего исследования* является сравнительный анализ доступных паспортов СГ, расположенных в энергосистеме Российской Федерации, на предмет разброса значений основных параметров, необходимых для расчета нормальных установившихся режимов и переходных процессов. В исследовании были задействованы справочники генераторного оборудования и реальные паспорта СГ, используемые эксплуатирующими компаниями.

В результате установлено следующее:

- отличия реактивных сопротивлений СГ могут достигать десятки процентов, отклонения в постоянной инерции агрегата T_J – более 10 %;
- в ряде паспортов имеются заведомо некорректные данные.

Результаты работы обуславливают необходимость идентификации параметров СГ с применением измерений режимных параметров, в частности, синхронизированных векторов напряжения и тока статорной цепи, а также напряжения и тока обмотки возбуждения СГ.

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИНХРОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ ПО СИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕКТОРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Корректные данные о параметрах схем замещения различных элементов электроэнергетической системы являются залогом точного моделирования установившихся режимов (УР), а также электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Появление синхронизированных векторных измерений (СВИ) обеспечивает возможность верификации отдельных параметров схем замещения.

Целью данного исследования является разработка и тестирование различных методов определения синхронных сопротивлений гидрогенераторов (ГГ) на основе СВИ. Разработанные алгоритмы реализованы в *MATLAB*, а для их полномасштабной верификации и совершенствования используются реальные данные с устройств СВИ.

ГГ в УР представляется расчетной ЭДС \dot{E}_Q , действующей за синхронным сопротивлением x_q (рис. 1). УСВИ, установленные на ГГ, будут измерять вектора напряжения \dot{U} и тока \dot{I} прямой последовательности вместе с напряжением и током возбуждения (u_f и i_f на рис. 1).

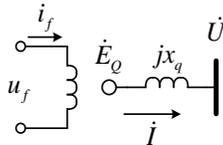


Рис. 1. Схема замещения гидрогенератора в установившемся режиме

Уравнения, связывающие измеренные и неизвестные величины на рис. 1, требуют решения нелинейной задачи. В данной работе система уравнений составлена несколькими различными способами, а при моделировании учтены погрешности измерений. Численные эксперименты с модельными данными показали, что синхронное сопротивление x_q можно оценить с точностью около 4 %, в то время как погрешность для x_d составляет всего 0,5 %. Окончательные выводы относительно функционирования всех разработанных методов должны быть сделаны после проведения серии экспериментов с реальными архивами СВИ.

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПАКТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ЛИНИЯМИ ТРАДИЦИОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Основными проблемными вопросами, возникающими при выборе межсистемных связей, являются [1]:

- создание электропередач с заданными параметрами и пропускной способностью;
- обеспечение управляемости электропередач, регулирование режимных параметров, величины и направления потоков мощности

В связи с указанными проблемами актуальной задачей является повышение пропускной способности межсистемной ЛЭП 220 кВ Вологодской энергосистемы.

Цель работы – сравнительный анализ компактных управляемых самокомпенсирующихся воздушные линии электропередачи (УСВЛ) с ЛЭП традиционного исполнения.

Проведен анализ конструктивных особенностей УСВЛ и параметров традиционных проводов марки АС и провода нового поколения АССР.

Проведены расчеты режимов участка с использованием программного комплекса RastrWin3 по данным ОЭС Центра ЕЭС для вариантов: с существующей ЛЭП, с УСВЛ с проводами марки АС и с УСВЛ с инновационным проводом АССР.

Выявлены режимные особенности новой УСВЛ, определен максимально допустимый переток активной мощности в исследуемом сечении схемы энергосистемы.

Показано, что благодаря воздействию на величину волнового сопротивления ЛЭП можно изменять характеристики ЛЭП и ее режимные параметры.

Полученные результаты на конкретных примерах исследований отражают техническую эффективность компактных УСВЛ по сравнению с ЛЭП традиционного исполнения.

Библиографический список

1. **Постолатий, В.М.** и др. Эффективность компактных управляемых высоковольтных линий электропередачи / Постолатий В.М., Быкова Е.В., Суслов В.М., Шакарян Ю.Г., Тимашова Л.В., Карева С.Н. Problemele Energeticii Regionale, Chişinău, 2015. №3(29), – С. 1-17.

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

РАЗРАБОТКА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ «RTDS» ДЛЯ АНАЛИЗА ПРИМЕНИМОСТИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ОМП

В настоящее время в Единой энергетической системе России, в т.ч. в электрических сетях сверхвысокого напряжения, наблюдается постоянное увеличение количества устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ) токов и напряжений. Устанавливаемые УСВИ предназначены, главным образом, для использования в составе Системы мониторинга переходных режимов (СМПР). Вместе с тем вычислительные эксперименты, отраженные, главным образом, в зарубежных публикациях, подтверждают тезис о возможности обеспечения необходимой точности УСВИ при фиксации ими электромагнитных переходных процессов. В настоящем исследовании поставлена задача комплексного тестирования ряда известных методов определения места повреждения (ОМП) в «нетиповых» условиях – с векторами тока и напряжения, измеренными УСВИ. В качестве основного инструмента для организации экспериментов применяется программно-аппаратный комплекс (ПАК) моделирования в реальном времени «RTDS», позволяющий получать осциллограммы переходных процессов и имитировать функционирование реальных УСВИ.

В соответствии с упрощенным техническим заданием (упрощенная топология проектируемого участка электрической сети, мощность в узлах нагрузки в режимах минимального и максимального потребления, и т.п.) была создана имитационная физико-математическая модель для ПАК «RTDS» с применением внешних усилителей тока и напряжения. Предполагается использование как «отрытого», так и «закрытого» цикла физико-математического моделирования.

В докладе будет представлена разработанная имитационная модель, позволяющая в автоматизированном режиме выполнять исследования методов ОМП (за счёт применения скрипта на языке C), использующих измерения от УСВИ. Результаты ОМП будут проанализированы с учётом времени существования повреждения и скорости реакции цифровых фильтров УСВИ.

А.А. Жемчужов, маг.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕЖИМЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

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

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

Цель работы: исследование режимных параметров ЛЭП 750 кВ с УШР для оптимизации режимов работы электроэнергетической системы (ЭЭС).

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

Показано, что установка УШР позволяет повысить предел передаваемой мощности при условии поддержания напряжения в допустимых пределах.

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

Полученные результаты работы могут быть использованы как при проектировании новых протяженных ЛЭП, так и при модернизации существующих с целью повышения их пропускной способности в ЭЭС России.

Библиографический список

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

Д.С. Жуков, маг.;
рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В настоящее время уделяется большое внимание созданию управляемых или гибких линий электропередачи, которые являются составной частью «интеллектуальных» сетей (Smart Grid) с устройствами FACTS. Внедрение и применение современных устройств позволит повысить эффективность функционирования электросетевого комплекса [1].

В состав FACTS входят статические тиристорные компенсаторы (СТК) и управляемые шунтирующие реакторы (УШР), обеспечивающие регулирование напряжения и необходимый уровень компенсации реактивной мощности в электрических сетях [2].

Целью данной работы является исследование регулировочных характеристик УШР и СТК, устанавливаемых на линии электропередачи напряжением 500 кВ.

В работе рассмотрены схемные особенности УШР и СТК.

Разработана модель электропередачи для исследования установившихся режимов с применением программного комплекса (ПК) Mathcad и ПК EnergyCS Режим.

Получены зависимости регулировочных характеристик УШР от передаваемой по ЛЭП активной мощности.

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

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

Библиографический список

1. **Положение** ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе, 2013.

2. **Дмитриев, М. В.** и др. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы / Дмитриев М. В., Карпов А. С., Шескин Е. Б., Долгополов А. Г., Кондратенко Д. В. – СПб.: Родная Ладога, 2013. – 280 с.

СЕКЦИЯ 14
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

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

Секретарь – старший преподаватель
Полкошников Д.А.

Р.Е. Первенёнок;
рук. А.Л. Сицко, к.т.н., доц.
(Военная академия Республики Беларусь, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АУТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ

Проанализировав существующие факторы, снижающие качество электрической энергии автономных систем электроснабжения (АСЭС) выявлено, что современное электрооборудование, входящее в состав АСЭС, содержит большое количество элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой, а также электронных устройств, использующих импульсные источники электропитания, что является основными источниками, снижающими качество электрической энергии [1].

В настоящее время перспективной возможностью обеспечения требуемого качества электрической энергии в АСЭС является применения силовых активных фильтров. Принцип работы таких систем заключается в генерации в сеть высших гармоник тока в противофазе с существующими. Структура силовых активных фильтров состоит из силовой части и системы управления (СУ). Предложены десятки способов управления, но наиболее перспективными является системы управления с использованием нейронных сетей (НС) и адаптивных алгоритмов.

В результате проведенных исследований имитационных моделей с СУ, основанных на НС и адаптивных алгоритмах получено, что для СУ, основанных на НС необходима: предварительная настройка (обучение) и высокопроизводительный процесс для функционирования данного алгоритма, тем временем как адаптивные алгоритмы не требуют предварительной настройки и требуют менее производительный процессор. Таким образом, силовой активный фильтр с СУ, основанной на адаптивных алгоритмах, функционирует в режиме реального времени без предварительной настройки.

Силовой активный фильтр с СУ, основанной на адаптивных алгоритмах в АСЭС, позволяет повысить показатели качества электрической энергии и компенсировать неактивную мощность подключенной нелинейной электрической нагрузки в сеть.

Библиографический список

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

В.А. Халтурин
(АО «Татэлектромонтаж», г. Казань)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ НОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Проектирование жилых комплексов включает в себя расчет электрической нагрузки не только жилых зданий, но и дошкольных (ДОУ) и общеобразовательных учреждений (ООШ) [1,2]. На сегодняшний день остро стоит вопрос корректировки нормативных значений в части электрических нагрузок жилых и общественных зданий, так как действующие нормы потеряли свою актуальность ввиду своей старости. Если с жилыми зданиями в Республике Татарстан (РТ) в 2019 г. проблема решена, то с ДОУ и ООШ работа по утверждению новых норм находится на стадии утверждения [2,3]. Проведенные исследования позволили выявить двукратную разницу между фактическими и расчетными значениями электрической нагрузки, причиной явилась эволюция электротехнического оборудования в сторону уменьшения электропотребления [1,3]. В исследовании приняли участие 30 ООШ и 35 ДОУ РТ. При расчете итоговой заявленной мощности предлагается использовать для дошкольных учреждений - 0,43 кВт/место и для общеобразовательных учреждений - 0,23 кВт/уч. Экономический эффект от корректировки норм электрической нагрузки на примере одного из кварталов жилого комплекса «Залесный сити» с учетом обновления норм электрической нагрузки для ДОУ и ООШ составил порядка 40 % (благодаря снижению стоимости технологического подключения, трансформаторной мощности и сечению кабельных линий) от средств, направляемых на строительство внешней электрической сети.

Библиографический список

1. **Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я., др.** Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // *Электричество*. 2021. № 6. – С. 62-71.
2. **Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С.** Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2011. № 9-10. – С. 40-45.
3. **Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И.** Энерго-ресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2021. Т. 23. № 1. – С. 156-166.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПО АКТУАЛИЗИРОВАННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Научно-исследовательская работа, проводимая Ассоциацией «Росэлектромонтаж» совместно с АО «Татэлектромонтаж», демонстрирует необходимость обновления норм электрических нагрузок [1], характерными признаками этого является двух, трехкратный разрыв между расчетными и измеренными нагрузками многоквартирных жилых домов. Вследствие этого нарастающим трендом образуется не востребуемая резервная мощность [1].

В течении трех лет велась работа по обеспечению качества электроэнергии [2,3] и обновлению норм электрических нагрузок в Республике Татарстан (РТ), и в 2019 г. утверждены новые значения электрических нагрузок, представленные в республиканских нормативах градостроительного проектирования [1]. В данном нормативном документе определены три группы, характеризующие как наличие либо отсутствие газоснабжения, так и наличие либо отсутствие лифтовых установок. Так как новые нормы не требуют отдельного учета лифтовой нагрузки, нагрузки индивидуального теплового пункта и нагрузки освещения места общего пользования, расчет заявленной мощности МКД значительно облегчается. По результатам 2020 г. за счет применения при проектировании новых норм электрических нагрузок строительный комплекс РТ получил снижение стоимости строительства электрических сетей в пределах 30%, что, примерно, составило порядка 300-380 млн. руб. экономии. Также необходимо отметить, что загрузка ТП в жилых комплексах увеличилась с 25% до 55%, что положительно повлияло на уменьшение электрических потерь в силовых трансформаторах.

Библиографический список

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я., др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. – № 6. – С. 62-71.
2. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. – № 9-10. – С. 40-45.
3. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Определение параметров симметрирующих трансформаторов // Промышленная энергетика. 2015. – № 1. – С. 54-59.

А.И. Муллагалиев, студ.;
рук. З.М. Шакурова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

МОДЕЛЬ SMART METERING ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Российский и зарубежный опыт показывает, чтобы добиться минимума потерь в электрических сетях, необходимо создание автоматизированной системы учета электроэнергии. В данной работе мы рассмотрим какие есть существующие проблемы учета электроэнергии, исследуем пути их решения и в каком направлении стоит развиваться и переходить на полностью интеллектуальные сети.

Приведем основные и наиболее часто встречаемые проблемы в электрических сетях: износ счетчиков электроэнергии, несоответствующее современным требованиям приборы и оборудование, неправильные условия эксплуатации, неточные измерения электрической энергии, ручной сбор показаний приборов учета, хищения электроэнергии, высокая стоимость систем АСКУЭ [1].

Решением данных проблем является совершенствование электрической сети в целом, то есть переход от традиционной системы учета электроэнергии к интеллектуальной и автоматизированной. Например, как модель Smart Metering.

Функции Smart Metering очень обширны, самые важные из них – это измерение мощности и ее параметров в любой момент времени, наличие функций самодиагностики счетчиков и защита от хищений, управление нагрузкой и регулирование тарифов электроэнергии в зависимости от объема потребления.

Опыт внедрения данной модели доказали свою эффективность в снижении технологических и коммерческих [1, 2].

Таким образом, автоматизированная технология Smart Metering основа для точных расчетов параметров потребления, баланса, а главное эффективное решение для снижения технических и коммерческих потерь электроэнергии.

Библиографический список

1. **Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И.** Энерго-ресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // ИЗВУЗ. Проблемы энергетики, 2021. – №6. – С. 156-166.
2. **Петруша Ю. С.** Современные задачи управления эффективностью энергоиспользования // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, 2012. – №4. – С. 34-41.

Е. В. Мерзлов, асп.;
рук. В. Ю. Вуколов, к.т.н., доц.
(НГИЭУ, г. Княгинино)

ОЦЕНКА ВНЕШНИХ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Одним из актуальных вопросов электроэнергетики является обеспечение потребителей электроэнергией в требуемом количестве при надлежащем её качестве. Перерывы в электроснабжении, снижение качества электроэнергии приводят к невосполнимым убыткам.

Автоматический выключатель (АВ) – контактное коммутационное устройство, способное включать, проводить и отключать электрические токи при нормальных условиях электрической цепи, а также включать, проводить в течение условленного времени и отключать электрические токи при определенных аномальных условиях электрической цепи, таких, как короткое замыкание [1, с. 5]. Принцип срабатывания АВ с тепловым расцепителем основан на изгибании контактной биметаллической пластины при нагревании её протекающим током. Достигнув определенного угла изгиба, совершается давление на рычаг спускового механизма и происходит размыкание цепи. Рабочие параметры АВ, находящегося в комплектной трансформаторной подстанции (КТП), сильно зависят от внешних воздействующих факторов. В результате влияния внешних воздействующих факторов значение тока срабатывания АВ отклоняется от номинального, из-за этого случаются ложные срабатывания теплового расцепителя, даже при незначительной нагрузке на сети, что в свою очередь ведет к нарушению электроснабжения потребителей.

Неучет температуры окружающего воздуха в месте установки выключателя приводит к существенному загрублению уставок и преждевременному срабатыванию защиты, ещё до момента возникновения аварийного режима. Чтобы решить проблему влияния факторов окружающей среды и не допустить отключения неповрежденных присоединений, необходима коррекция уставок срабатывания АВ при изменении температуры. Одним из вариантов может служить тепловая компенсация АВ. Для этого нужно установить независимый расцепитель, и присоединить в сеть электро-тепловое реле. Другой вариант – использование АВ с электронными расцепителями, в случае если их климатическое исполнение соответствует условиям среды в месте установки аппарата. Такие АВ не подвержены влиянию внешних факторов и обладают широким спектром настроек и регулировок защиты, но есть и недостатки – довольно высокая стоимость, хрупкие элементы управления, а также чувствительность расцепителя к воздействию электромагнитного излучения.

Библиографический список

1. ГОСТ ИЕС 60050-441 – 2015. Междун. электротехн. словарь. Ч. 441. Аппаратура коммутац. управления и плавкие предохранители. – М.: Стандартинформ, 2016. – 30 с.

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

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Интеллектуализация электрических сетей является одним из основных трендов развития электроэнергетики многих стран мира. Ключевым при построении Smart Grid является применение устройств на основе FACTS-технологий. К таким устройствам в части управления качеством электрической энергии в распределительных электрических сетях (РЭС) относятся тиристорные регуляторы напряжения (ТРН) [1]. Из-за высокой протяженности и разветвленности РЭС, а также непрерывного роста доли распределенной генерации не решенным остается вопрос выбора оптимального месторасположения ТРН.

В существующих методиках при выборе месторасположения регуляторов напряжения исходят из топологического принципа, либо из расчета уровней напряжения в режиме максимума и минимума нагрузок. Однако все эти подходы не учитывают специфику, тип и характер нагрузки, не учитывают реальную картину с точки зрения электромагнитной обстановки Smart Grid. Кроме того, согласно действующему ГОСТ 32144-2013 требования к показателям качества электрической энергии должны соблюдаться на границе балансовой принадлежности, причем может возникнуть ситуация, когда в точке присоединения потребителей показатели могут быть в норме, а на зажимах электроприемников выходить за допустимые пределы.

Выполнен анализ методов и алгоритмов поиска оптимального месторасположения. Существующие методы можно классифицировать как аналитические, эвристические, методы линейного программирования и гибридные. Основными критериями при составлении целевой функции авторами выбраны: стабилизация уровня напряжения, минимизация потерь и инвестиционных вложений.

Результаты исследований получены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (соглашение № 075-15-2021-384 от 16.04.2021 г., МК-2026.2021.4).

Библиографический список

1. **Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш.** О трансформаторно-тиристорном регуляторе напряжения и мощности // *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*, 2013. – № 4. – С. 24-26.
2. **Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш., Липужин И.А.** Моделирование энергоэффективных режимов работы цифровой электрической подстанции // *Материалы XLIII международной научно-практической конференции «Фёдоровские чтения»*, 2013. – С. 155-159.

*М.В. Громовой; Д.В. Лелеткин, студ.;
рук. С.А. Шунаев, ст. преп.
(СФМЭИ, г. Смоленск)*

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

В данной статье предлагается стратегия управления энергопотреблением для системы резервного питания, которая координирует потоки энергии между возобновляемыми источниками энергии в микросетях постоянного тока. LiFePO₄ аккумулятор используется для компенсации мощности между возобновляемой генерацией и потребностью в нагрузке.

Нестабильные и непостоянные характеристики возобновляемых источников энергии могут привести к нестабильной работе сети. В связи с этим для устранения причины нестабильной работы от возобновляемых источников энергии необходимо стабильное резервное питание.

Для эффективного использования возобновляемых источников энергии и балансирования мощности между источником и нагрузкой предлагается схема управления шиной постоянного тока. Когда общая генерируемая мощность превышает потребляемую, батарея накапливает энергию. Схема управления шиной постоянного тока балансирует мощность в режиме переключения аккумуляторной системы. Учитывая ограниченную емкость батареи, применяются режимы принудительной зарядки и принудительной разрядки.

Время работы аккумулятора может быть уменьшено из-за частого переключения между операциями зарядки и разрядки. По этой причине предлагается стратегия распределения мощности для установки выходной мощности источника питания для снижения нагрузки на аккумулятор.

Предлагается также внести в аккумуляторную схему ионистор для демпфирования пиков нагрузки и уменьшения количества циклов заряда-разряда АКБ.

Экспериментальные результаты подтверждают эффективность контроля и стратегии управления энергопотреблением.

Библиографический список

1. **Andreenkov E., Shunaev S., Hajrullo S.A.** Prospect of using solar power generation in territory of Tajikistan. / E. Andreenkov, S. Shunaev, A.H. Hajrullo // 2019 International Conference On Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, Icieam 2019. – Sochi, 25–29 марта 2019.
2. **Andreenkov E., Shunaev S., Solopov R.** The development a power source based on RES, for autonomous systems of technical means of protection (SCOPUS) / E. Andreenkov, S. Shunaev., R. Solopov // 2018 International Multi-Conference On Industrial Engineering and Modern Technologies, Fareastcon 2018. – Vladivostok, 03–04 октября 2018.
3. **Андреев Е.С., Шунаев С.А.** Разработка источника электроэнергии для автономных систем технических средств охраны на базе возобновляемого источника. Наук. Инноваци. Техн. и Эколог. Безопасность в Энергетике. – Волжский, 15–17 мая 2018.– С. 6-12.

*Д.В. Шилкин, студ.; Г.Д. Маслова;
рук. И.Н. Маслов, к.т.н., доц.
(КГЭУ г. Казань)*

СНИЖЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ 0,4/10 КВ

Анализ загрузки силовых трансформаторов (СТ) напряжением 0,4/10 кВ в нескольких крупных городах показал, что большая часть из них имеет коэффициент загрузки менее 30%. Этот факт говорит о повышенных потерях электрической энергии в них по сравнению с СТ с коэффициентом загрузки, находящимся в пределах 70%. В работе разработаны методики для снижения потерь электроэнергии в городских электрических сетях, решающие задачу недогруженного оборудования, в первую очередь, СТ. Интеллектуальные системы, встроенные в трансформаторные подстанции, анализируя фактические профили электрической нагрузки, самостоятельно принимают решение по снижению потерь электроэнергии за счет отключения (включения) второго СТ. Применение инвестиционно-сберегательных мероприятий за счет алгоритма замены СТ на трансформаторы меньшей мощности также приведет к снижению технических потерь электроэнергии. Итогом научно-исследовательской работы будет снижение затрат на системы городского электроснабжения по средствам использования при их проектировании верифицированных графиков нагрузки. На балансе АО «Сетевая компания» по итогам 2020 г. состоит 20 465 РП и ТП 6-10 кВ. При учете, что СТ в 51% случаев загружены менее 30%, их догрузка до 60% позволит снизить на 10% (93,8 млн кВт·ч в распределительной сети 0,4–10 кВ) общие потери электроэнергии, которые в 2020 г. составили 938 млн кВт·ч. Экономический эффект составит порядка 230 млн. руб. в год.

Библиографический список

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я., др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. – № 6. – С. 62-71.
2. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Определение параметров симметрирующих трансформаторов // Промышленная энергетика. 2015. – № 1. – С. 54-59.
3. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Энерго-ресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. – № 1. – С. 156-166.

И.А. Липужин, А.В. Шалухо, к.т.н.;
рук. А.Б. Лоскутов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Н. Новгород)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В качестве перспективного источника электроэнергии выделяют топливные элементы (ТЭ). Важным недостатком ТЭ является их низкая маневренность. Данная проблема может быть решена путем совместного использования ТЭ и аккумуляторных батарей (АБ) в гибридном энергетическом комплексе (ГЭК) [1].

Разработана структура ГЭК, включающая топливные элементы с полимерной протонообменной мембранной (ПОМТЭ), АБ, устройство контроля защиты и управления. Разработаны математические модели ГЭК, устанавливающие связи между параметрами блоков ГЭК (рис. 1).

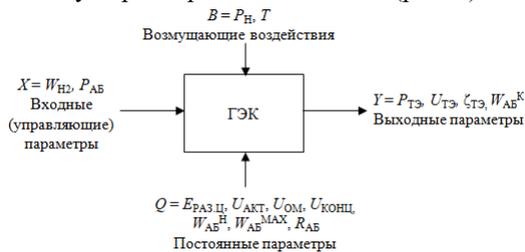


Рис. 1. Математическая модель ГЭК: P_H – мощность нагрузки; T – рабочая температура ТЭ; $P_{TЭ}$ – выходная мощность ТЭ; $U_{TЭ}$ – выходное напряжение ТЭ; $\zeta_{TЭ}$ – КПД ТЭ; W_{AB}^K – энергия АБ в конце интервала измерений; $E_{РАЗ.Ц.}$ – напряжение разомкнутой цепи ТЭ; U_{AKT} – падение напряжения активации ТЭ; U_{OM} – омическое падение напряжения ТЭ; $U_{KONЦ.}$ – концентрационное падение напряжения ТЭ; W_{AB}^H – энергия АБ в начале интервала измерений; W_{AB}^{MAX} – емкость АБ; R_{AB} – внутреннее сопротивление АБ; W_{H2} – молярный расход водорода; P_{AB} – входная мощность АБ

В *Matlab Simulink* разработана имитационная компьютерная модель ГЭК, позволяющая проводить исследования параметров режимов работы комплекса. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № [20-38-51016](#).

Библиографический список

1. **Бедретдинов Р.Ш.** Экономическая оценка эффективности применения гибридного энергетического комплекса на водороде // Интеллектуальная электротехника. 2021. – №4. – С. 47-58.
2. **Рыкованов А., Румянцев С., Беляев С.** Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция // Компоненты и технологии, 2013. – № 11. – С. 111–118.

*А.В. Шалухо, Р.Ш. Бедретдинов, Е.В. Крюков, к.т.н.;
рук. А.Б. Лоскутов, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Водородные топливные элементы (ТЭ) считаются наиболее перспективным типом источников электроэнергии. При этом актуальной задачей является разработка эффективных решений по объединению ТЭ и аккумуляторных батарей (АБ) в гибридный энергетический комплекс (ГЭК).

Разработана физическая модель ГЭК на основе водородных ТЭ. Физическая модель имеет модульную конструкцию и включает в состав блок хранения газов, блок генерирования на основе низкотемпературных ТЭ, блок-системы накопления на основе АБ, устройство контроля, защиты и управления [1]. На рис. 1 приведена схема соединений блока хранения газов.

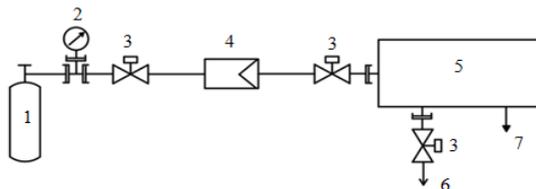


Рис. 1. Схема соединений блока хранения газов в составе физической модели ГЭК: 1 – баллон с водородом; 2 – манометр; 3 – электромагнитные клапаны; 4 – регулятор давления и расхода водорода; 5 – топливный элемент; 6 – выход неиспользованного водорода; 7 – выход воды

С помощью физической модели будут проведены экспериментальные исследования режимов работы ГЭК и показателей качества электроэнергии. Результаты исследований позволят обосновать эффективность алгоритмов, положенных в основу устройства контроля, защиты и управления. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № [20-38-51016](#).

Библиографический список

1. Куликов А.Л., Ваняев В.В., Дарьенков А.Б., Шахов А.В. Источник резервного электропитания с водородным топливным элементом и литий-железо-фосфатной аккумуляторной батареей // Интеллектуальная электротехника. 2021. – №3. – С. 107-124.

*А. Д. Хабибуллина;
О.В. Козелков, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Обеспечение потребителей высококачественной электрической энергией является одной из приоритетных задач развития науки в Российской Федерации.

Цель исследования: выбор наиболее оптимального метода контроля показателей для построения системы мониторинга качества электрической энергии в рамках реализации интеллектуальных энергосистем на основе метода сравнения.

Периодограммный и коррелограммный методы представляют собой методы спектрального анализа, благодаря которым можно описать частотный состав измеряемого сигнала. Работа каждого из них основана на преобразовании Фурье, связывающем временной или пространственный сигнал с его представлением в частотной области. [2]

Оба вышеперечисленных метода являются сложными с вычислительной точки зрения и обладают высокой загруженностью.

Результаты исследования

Выбор необходимого метода в том или ином случае является одним из основополагающих моментов в процессе контроля и мониторинга качества электроэнергии. Исследованиями методов контроля качества электроэнергии занимались С.В. Ершов, В.М. Артюшенко, Д.Е. Дулепов и многие другие учёные. Данные методы контроля показателей качества электроэнергии можно разделить на четыре основные группы: контроля амплитуды напряжения, контроля частоты, контроля несинусоидальности, контроля не симметрии.

Таким образом, в результате проведенного исследования определено, что наиболее оптимальными методами контроля можно считать методы, основанные на вейвлет преобразовании, так как они позволяют значительно сократить объем передаваемой информации о параметрах режима электроэнергетической системы.

Библиографический список

1. Лютаревич А.Г., Лейнерт В.В., Соколов Д.С. Анализ методов контроля качества электроэнергии // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 12-1. – С. 126-130.

2. Гаврилов, Ф.А. Качество электрической энергии / Ф.А. Гаврилов. – Приазовский ГТУ, 2007. – 96 с.

*М.Ф. Аззамов, маг. (КГЭУ, г. Казань);
рук. Э.Ф. Хакимзянов, к.т.н.
(ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Используемые на сегодняшний день методы для улучшения состояния электрических сетей не имеют возможности формировать технически обоснованные энергоэффективные инвестиционные программы развития и модернизации сетей.

Программный комплекс PSS Sincal позволяет построить математическую модель (СІМ-модель) энергорайона, которая позволяет анализировать режимы работы и выявлять уязвимые места в энергосистеме при проектировании, антиципировать различные сценарии развития электрической сети для обеспечения требуемого уровня качества электроэнергии, отвечающей экономическим интересам поставщиков и потребителей.

Для определения объема и целесообразности моделирования низковольтных сетей напряжением 0,4 кВ в исследовании была выбрана электрическая сеть, прилегающая к КТП, в которой, по результатам замера параметров с учетом профиля графика нагрузок отклонение уровня напряжения превышает регламентируемые значения, что предполагает необходимость модернизации электрической сети [1]. В связи с этим были приняты к рассмотрению и рассчитаны все возможные варианты повышения качества электроснабжения потребителей исследуемого участка с дальнейшим изменением СІМ-модели сети и был выбран наиболее оптимальный вариант.

Исследование показало, что модернизация электрической сети 0,4 кВ с помощью установки системы накопления электрической энергии является наиболее перспективным решением по обеспечению нормативного уровня напряжения на проблемных участках ВЛ-0,4 кВ и повышения надежности социально-значимых объектов, в том числе отдельных потребителей второй категории электроснабжения, а также электроснабжения удаленных территорий.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Внимание к этой теме вызвано необходимостью сбережения электроэнергии, снижения ее потерь за счет применения инновационного оборудования и оптимизации режимов системы электроснабжения [1].

Целью работы является комплексный анализ существующей схемы электроснабжения текстильного предприятия и разработка мероприятий по ее эффективности.

Составлена модель существующей системы электроснабжения и проведен расчет установившегося режима с применением специализированного программного комплекса «EnergyCS Режим».

Проведен анализ надежности схемы электроснабжения, режимных параметров и структуры потерь мощности в элементах схемы.

Разработаны мероприятия по реконструкции системы электроснабжения: замена устаревших кабелей с бумажной изоляцией на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, замена цеховых трансформаторов ТМГ на энергосберегающие трансформаторы типа ТМГ12, применение комплектных регулируемых конденсаторных установок.

Предложены способы управления режимом напряжения и реактивной мощностью в схеме электроснабжения.

Анализ результатов расчета установившегося режима системы электроснабжения после использования предложенных мероприятий по ее совершенствованию показал, что потери мощности и электроэнергии значительно снизились.

Проведена оценка экономической эффективности предложенных энергосберегающих мероприятий.

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. – № 1523-р.

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

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ РАЙОНА КОСТРОМСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В Костромской области одним из перспективных инвестиционных проектов на 2022 – 2025 г.г. является создание индустриального парка «Волгореченск» с нагрузкой 125 МВт, куда входят заводы по производству труб и электрометаллургический [1].

Целью работы является разработка перспективной схемы электрической сети района энергосистемы с отображением графической схемы на платформе информационно - управляющей системы «Оперативно- информационный комплекс СК-11», расположенной в помещении диспетчерского центра Костромского РДУ [2].

Проведены расчеты установившегося режима наибольших нагрузок существующей схемы электрической сети и выявлены ее проблемные узлы.

Определены перспективные нагрузки индустриального центра с учетом увеличения объема производства существующего трубного завода.

Рассмотрены варианты перспективной схемы внешнего электроснабжения с учетом Ивановской и Костромской энергосистем.

Схема электрической сети района с перспективными нагрузками отображена в оперативно-информационном комплексе (ОИК), который относится к современному программному обеспечению и отражает технологическую информацию по определенным правилам [3].

Полученные результаты могут быть использованы в Костромском РДУ для оперативно - диспетчерского управления электроэнергетическими режимами энергосистем Ивановской и Костромской областей.

Библиографический список

1. **Постановление** №73 от 29 апреля 2020 года. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Костромской области на 2021-2025 г. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/570791187> (дата обращения 2022- 19-03).
2. **Оперативно-информационный** комплекс СК-11 для диспетчерских центров управления в электроэнергетике. – URL: <https://monitel.ru/upload/iblock/ce7/ck11> (дата обращения 2022-19-03).
3. **СТО** 59012820.27.010.001-2022 СТАНДАРТ. Правила отображения технологической информации.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СХЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Внимание к этой теме вызвано необходимостью обеспечения показателей качества электроэнергии [1].

Целью работы является комплексный анализ показателей качества электроэнергии многоквартирного жилого дома и разработка мероприятий по обеспечению их допустимых значений.

Составлена модель существующей схемы электроснабжения многоквартирного дома и проведены расчеты показателей качества электроэнергии.

В работе использовался программный комплекс «EnergyCS Режим» и результаты экспериментальных исследований с применением специализированных приборов по контролю показателей качества электроэнергии.

Проведен анализ режимных параметров схемы электроснабжения и показателей качества электроэнергии таких как: отклонение напряжения, коэффициент несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения.

Разработаны мероприятия по обеспечению допустимости режимных параметров в схеме электроснабжения от источника питания до вводного распределительного устройства жилого дома и показателей качества электроэнергии: равномерное распределение нагрузок по фазам, применение трансформаторов на питающей подстанции с симметрирующим устройством,

Проведены расчеты в схеме электроснабжения после применения предложенных мероприятий по улучшению показателей качества электроэнергии и проведена оценка экономической эффективности этих мероприятий.

Полученные результаты работы могут быть использованы как при реконструкции существующих схем электроснабжения жилых многоквартирных домов разной этажности, так и при проектировании.

Библиографический список

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

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

ОЦЕНКА НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Проблема несинусоидальности напряжения в последнее время стала особенно актуальна в связи с применением на производстве мощных электроприемников с нелинейной вольтамперной характеристикой.

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 (ЭПС) мощностью 70 кВт и пассивная нагрузка.

Для реализации в ЭПС процессов нагрева, требующих поддержания заданной температуры с точностью до $\pm 0,1-5^\circ\text{C}$, необходимо осуществлять плавное регулирование электрической мощности нагревателей [1]. Для соблюдения таких высоких требований ЭПС подключается к шинам подстанции с помощью тиристорного регулятора напряжения. В результате работы тиристор ЭПС потребляет несинусоидальный ток и искажается форма кривой напряжения.

Целью расчета несинусоидальности напряжения является определение коэффициента несинусоидальности напряжения $K_{нс}$ и сравнение его с нормативным значением. По условиям нормальной работы $K_{нс}$ на шинах 0,4 кВ не должен превышать 8%. В результате расчетов получено, что коэффициент несинусоидальности может достигать 10,5%, и превышает допустимое значение.

Для уменьшения несинусоидальности напряжения подобраны параметры фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ). На частоте основной гармоники ФКУ компенсирует реактивную мощность, но для токов высших гармоник имеет нулевое сопротивление и препятствуя их прониканию во внешнюю сеть. Также для обеспечения нормальной работы системы электроснабжения рассчитан предельный угол открытия тиристора, $\alpha=0,013^\circ$.

Библиографический список

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

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

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С ДУГОВЫМИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫМИ ПЕЧАМИ

На промышленных предприятиях широко используются дуговые сталеплавильные печи, являющиеся мощными приёмниками электрической энергии с резкопеременной нагрузкой. Это приводит к появлению колебаний напряжения в системах электроснабжения.

Для решения этой проблемы на шинах электросталеплавильного комплекса используют статические тиристорные компенсаторы (СТК), которые относятся к устройствам косвенной компенсации и состоят из тиристорно-реакторной группы и фильтрокомпенсирующих цепей. Параметры СТК определяются для конкретного объекта в зависимости от вида и мощности компенсируемой нагрузки, конфигурации схемы электроснабжения и требований к качеству электроэнергии.

Цель работы заключалась в выборе компенсирующего устройства для обеспечения допустимых колебаний напряжения (в соответствии с ГОСТ 32144-2013) на шинах системы электроснабжения предприятия, на котором установлены дуговые печи ДСП-25. В ходе исследования рассмотрена схема электроснабжения предприятия и на основании графика электрических нагрузок выбрана мощность СТК. Проведен анализ эффективности использования компенсирующего устройства для ограничения колебаний напряжения в системе электроснабжения, который показал снижение размаха колебаний напряжения в сети более чем на 15%.

Исследования могут иметь практическое значение для предприятий, на которых используются мощные установки, вызывающие снижение качества электроэнергии в электрической сети.

Библиографический список

1. **Николаев, А.А.** Анализ качества электроэнергии при стабилизации активной мощности дуговой сталеплавильной печи с помощью статического тиристорного компенсатора / А.А. Николаев, В.В. Анохин // Вестник ЮУрГУ. Серия Энергетика, 2019.
2. **Рыжнев, Ю.Л., Минеев, Р.В., Михеев, А.П., Смелянский, М.Я.** Влияние дуговых электропечей на системы электроснабжения. – М.: Энергия, 1975.

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

ВЫБОР СХЕМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭКРАНОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

В настоящее время сети 6-35 кВ активно строятся с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. В зависимости от их конструкции, которая бывает однофазной или трехфазной, появляются особенности, которые нельзя не учитывать.

Основной задачей, которую решает экран, является выравнивание электрического поля, действующего на главную изоляцию. Однако, из-за взаимных емкости и индуктивности, между жилой и экраном, а также соседними фазами в экранах появляются токи.

Емкостные токи, протекающие по экрану при его однократном или многократном заземлении, вследствие своей малости не представляют опасности для кабеля. Индуктивный механизм появления тока в экране связан с наличием тока в жиле кабеля и, поэтому проявляет себя только для нагруженного кабеля. Не принятые специальные меры приводят к протеканию в экране кабеля тока, сопоставимого с током в жиле [1].

Один из способов борьбы с индуцированными токами в экранах трехфазной группы однофазных кабелей это разрыв экранных контуров (частичное разземление экранов).

Цель работы заключается в анализе влияния разных видов заземления экранных контуров на величину токов и напряжений, наводимых в экранах, и выбор оптимального варианта их заземления при использовании кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в системах электроснабжения промышленных предприятий.

В программном комплексе Electronics Workbench разработана расчетная модель трехфазной группы одножильных кабелей, позволяющая произвести сравнительный анализ контролируемых параметров и выбрать оптимальный способ заземления.

Библиографический список

1. **Дмитриев М.В.** Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 152 с.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗМОВ С ВЕНТИЛЯТОРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Подбор и работа механизмов с вентиляторными характеристиками производится в соответствии с гидравлическими характеристиками систем, для которых должен быть обеспечен требуемый расход теплоносителя или заданный уровень давлений. Это могут быть системы с постоянным или с переменным расходом перекачиваемой среды, связанным с изменением гидравлического сопротивления элементов. В реальной эксплуатации, необходимость регулирования параметров данных механизмов обуславливается двумя факторами.

1) Для циркуляционных систем с постоянным расходом перекачиваемой среды, необходимость регулирования обуславливается дискретностью номинальных характеристик механизмов, за счет регулирования достигается требуемое соответствие, обеспечиваемое поддержанием необходимого перепада давлений на входе в систему или прямого поддержания заданного расхода.

2) Для систем с переменным гидравлическим сопротивлением элементов, необходимость регулирования механизмов обуславливается изменением гидравлических характеристик присоединенной системы и соответствующим изменением расхода перекачиваемой среды. В этом случае задачей регулирования является только поддержание заданного перепада давлений в присоединенной системе.

Рассмотрены два способа регулирования механизмов, а именно: дроссельное регулирование (задвижка) и регулирование с использованием частотно-регулируемого привода (ЧРП).

Применение ЧРП позволяет не только регулировать производительность, но и реализовать ряд полезных функций, таких как: экономия электроэнергии, уменьшение износа и ряд других. Однако ЧРП является источником гармонических искажений напряжения питания и связанных с этим рядом негативных явлений.

Проведен анализ способов регулирования производительности механизмов с вентиляторными характеристиками для различных режимов его работы. Определен экономический эффект от применения ЧРП в сравнении с дроссельным регулированием.

СЕКЦИЯ 15

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

Секретарь – ассистент **Родин Н.А.**

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

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ НЕТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Нетяговые железнодорожные потребители — это потребители электрической энергии всех служб железных дорог, кроме электрической тяги поездов. Основные нетяговые нагрузки подразделяются на потребителей крупных станций и узлов (характеризуются достаточно большой присоединенной мощностью и использованием традиционных распределительных сетей для их электроснабжения), а также на линейных потребителей (расположены на участке между станциями, отличаются большой рассредоточенностью и относительно малой мощностью электроприемников). Особенности схем электроснабжения линейных потребителей существенно затрудняют выполнение селективной, быстродействующей и чувствительной релейной защиты (РЗ).

На участке между тяговыми подстанциями для электроснабжения нетяговых потребителей прокладываются две линии электропередачи (как правило, воздушные): линия СЦБ, предназначенная для питания нагрузок сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), а также линия продольного электроснабжения (ПЭ) для подключения остальных потребителей на участке и резервного электроснабжения нагрузок СЦБ, относящихся к первой категории надежности по ПУЭ.

В настоящее время на практике для РЗ линий СЦБ и ПЭ используются одинаковые алгоритмы простейших токовых защит, реализованные на электромеханической или микропроцессорной элементной базе, не обладающие высокой чувствительностью. Это приводит к существенному ограничению области допустимых установившихся режимов нетяговых сетей и снижению надежности.

Разработка специализированных алгоритмов РЗ для микропроцессорных устройств защиты линий ПЭ позволит обеспечить учет уравнильного тока и повысить надежность и чувствительность защиты при консольной, встречно-консольной и двухсторонней схеме питания. Для защиты линий СЦБ требуется разработка специальных устройств РЗ с адаптированными к режиму линий (подключение к источнику питания через два последовательных трансформатора) высокочувствительными алгоритмами ступенчатой дистанционной или дифференциальной защиты, а также специфических направленных защит от однофазных замыканий на землю.

*Я.Н. Белов, Д.М. Евдокимов, А.А. Кринкин, студ.;
рук. В.Ю. Вуколов, к.т.н., доц.
(ДПИ НГТУ, г. Дзержинск)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАНДАРТА МЭК 61850 ДЛЯ ПОДСТАНЦИЙ 110/35/10 КВ

Развитие современных коммуникационных технологий создает предпосылки для внедрения на объектах электросетевого хозяйства различных видов интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ), обеспечивающих функции измерения, учета, защиты и управления. Появление стандарта МЭК 61850 и учет его требований при объединении ИЭУ через единую информационную сеть позволит создать систему цифровой релейной защиты и автоматики (РЗА) для типовых подстанций 110/35/10 кВ. Преимущества такой системы – возможность организации высокоскоростного обмена между отдельными ИЭУ, повышение возможностей по резервированию и быстродействию защит.

Возможны два варианта практической реализации систем РЗА подстанций (ПС): централизованное исполнение (локальные устройства управления, измерения и передачи команд на каждом присоединении с полнофункциональными «виртуальными» терминалами РЗА всех элементов ПС в едином центре управления) и децентрализованная система РЗА (каждое устройство является полноценным элементом защиты и управления, способно выполнять все функции при потере каналов связи или отказе смежных устройств).

При проектировании системы цифровой РЗА на примере существующей подстанции Нижегородской области опираемся на микропроцессорные терминалы АЛИМП, включающие в себя различный набор функций релейной защиты и автоматики для всех элементов ПС. Объединение таких устройств по протоколу Ethernet позволяет получить избыточность измерений, что вкупе со специальными алгоритмами оценки достоверности показаний позволяет повысить надежность РЗА. Такая конфигурация позволяет осуществить РЗА, где одно физическое ИЭУ с фиксированным набором функций защищает несколько присоединений, а резервирование функций выполняется в другом/других ИЭУ. Интеграции функций и сценарии резервирования были реализованы на основе децентрализованного варианта исполнения защит.

*П.А. Зудкин, маг.;
рук. А.А. Наволочный, к.т.н., доц.
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)*

НАЗНАЧЕНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ НА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Одним из важных факторов при построении шины процесса цифровой подстанции (ЦПС) является синхронизация времени с точностью до нескольких микросекунд. Стандарты, обеспечивающие требуемую точность, уже существует (IEEE 1588, IEC 61588), и часть производителей, в первую очередь коммуникационного оборудования, уже производят устройства с поддержкой этих стандартов. Синхронизация времени на ЦПС предназначена для трех основных задач: анализ событий осциллограмм, зафиксированных несколькими устройствами; временные метки сигналов; синхронные измерения параметров от разных устройств.

Синхронизация времени необходима для правильного анализа событий осциллограмм, зафиксированных несколькими устройствами как на одной подстанции, так и между некоторым числом подстанций [1]. Поскольку электрическая сеть связана, для анализа аварийной ситуации (например, короткое замыкание) мы можем получить осциллограмму с двух подстанций и сравнить их. Первичный процесс протекания тока короткого замыкания, проходящего через присоединение двух подстанций, одномоментный, но устройства, измеряющие его, имеют свои внутренние часы. У терминалов РЗА есть свои внутренние часы, идущие с определенной точностью, с определенного нулевого отсчета. Для сравнения двух осциллограмм необходимо установить общее время для каждого устройства. Если этого не сделать, то сопоставление данных будет невозможно.

Синхронные измерения параметров от разных устройств относятся непосредственно к протоколу передачи SV-сообщений. Необходимо установить временную зависимость одной выборки значений от другой. При сдвиге выборок относительно друг друга, устройства РЗА будут срабатывать ложно, например, дифференциальная защита.

Библиографический список

1. **Чичёв С.И.** Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Глинкин. – М.: Изд. дом «Спектр», 2014. – 228 с.

П.А. Зудкин, маг.;
рук. А.А. Наволочный, к.т.н., доц.
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ РЗА

На сегодняшний день решение задачи повышения устойчивости ЕЭС России связано с внедрением инновационных цифровых технологий.

Надежность работы устройств РЗА неразрывно связана с повышением устойчивости функционирования энергосистемы [1]. Автоматизированная система мониторинга и анализа функционирования устройств релейной защиты и автоматики (АСМ РЗА), собирая и обрабатывая данные из различных источников, осуществляет прогнозную диагностику и аналитику функционирования устройств РЗА [2]. Бесперывный мониторинг устройств РЗА, позволит осуществить переход от планового обслуживания устройств РЗА к обслуживанию по состоянию, без снижения надежности функционирования.

Технология синхронизированных векторных измерений (СВИ) позволяет получить более точную информацию для анализа аварийных ситуаций, работы систем регулирования и возбуждения генерирующего оборудования. Перспективно использование СВИ в автоматике предотвращения нарушений устойчивости, для оптимизации, в режиме реального времени, управляющих воздействий, учитывая при этом текущую схему послеаварийного режима [1]. Применение СВИ для оптимизации функционирования локальной автоматики разгрузки по перегрузке активной мощности, с использованием параметра угла, полученного на основе СВИ, предоставит возможность испытать новые решения задачи противоаварийного управления при появлении в энергетической системе недопустимых небалансов активной мощности.

Библиографический список

1. **Павлушко, С. А.** Актуальные вопросы развития РЗА в условиях цифрового энергоперехода / С. А. Павлушко // Электроэнергия. Передача и распределение, 2021. – № 5(68). – С. 6-10.
2. **Анализ аварийных ситуаций в электрических сетях с использованием автоматизированной системы мониторинга и анализа РЗА / Д. Б. Гвоздев, М. А. Грибков, Ю. В. Романов [и др.]** // Электроэнергия. Передача и распределение, 2021. – № 4(67). – С. 133-136.

К.Р. Крайнов, студ.;
рук. А.А. Юдина
(СамГТУ, г. Самара)

ФУНКЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) – человеко-машинная система управления, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием.

При создании АСУТП должны быть определены конкретные цели функционирования системы и ее назначение в общей структуре управления предприятием.

Функция АСУТП — это совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления. Совокупность действий системы представляет собой определенную и описанную в эксплуатационной документации последовательность операций и процедур, выполняемых частями системы. Следует отличать функции АСУТП в целом от функций, выполняемых всем комплексом технических средств системы или его отдельными устройствами.

Функции АСУТП подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.

Управляющая функция АСУТП — это функция, результатом которой являются выработка и реализация управляющих воздействий на технологический объект управления.

Информационная функция АСУТП — это функция системы, содержанием которой являются сбор, обработка и представление информации о состоянии автоматизированного технологического комплекса (АТК) оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки.

Вспомогательные функции не имеют потребителя вне системы и обеспечивают функционирование АСУТП (функционирование технических средств системы, контроль за их состоянием, хранением информации и т. п.). [1]

Библиографический список

1. **Втюрин, В.А.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами основы АСУТП: Учебное пособие/ Втюрин В.А. – С.-Петербург, ФГОУ ВПО СПбГЛТУ, 2006. – 152 с.

*А.А. Кринкин, Я.Н. Белов, Д.М. Евдокимов;
рук. В.Ю. Вуколов, к.т.н., доц.
(ДПИ НГТУ, г. Дзержинск)*

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (PMU) В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИ- СТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПОДСТАНЦИОННОГО УРОВНЯ

Устройства синхронизированных векторных измерений (PMU) применяются для измерения аналоговых сигналов напряжения и тока, непрерывно синхронизированных с тактовой частотой синхронизации сигнала, полученной от глобальной системы позиционирования (GPS). В электроэнергетических системах напряжение и ток должны измеряться и регулироваться, чтобы обеспечить надлежащее качество электроэнергии, поступающей в сеть, и выполнить требования по устойчивости в установившихся режимах электрических сетей.

Внедрение системы векторных измерителей возможно при реконструкции существующих подстанций 110/35/10 кВ. Установка устройств PMU не потребует значительных затрат, вследствие применения современных ЭВМ для решения проблемы выбора мест установки. Синхронизация блоков векторных измерителей, для создания их объединённой сети, выполняется одним из двух методами: с использованием GPS (для этого достаточно установить антенну связи со спутниками, которые устанавливают временные марки для измерений); либо с помощью временного протокола ITR, когда измерители объединяются в локальную сеть с применением временных протоколов.

Блоки PMU формируют по определенному протоколу кадры из цифровых мгновенных значений напряжений и токов присоединений всех уровней напряжения подстанции с метками времени и передают по коммуникационной сети в хост-компьютер. Система управления конфигурацией и режимом получающих питание от подстанции распределительных сетей, использующая также измерения от установленных в характерных точках сети устройств PMU, позволит обеспечить снижение потерь электроэнергии и обеспечение необходимых требований по надежности за счёт управление положением коммутационных аппаратов. Дополнительно формируются новые возможности для совершенствования подсистем защиты, управления, учета, мониторинга и диагностики оборудования, каналов связи и т. д.

П. Д. Кутейников, студ.;
С. С. Дементьев, к.т.н.
(ФГБОУ ВО «ВолГТУ», г. Волгоград)

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Электроснабжение промышленного предприятия крайне чувствительно к аварийным отключениям питающих воздушных линий (ВЛ), при этом согласно статистическим данным, приведённым в [1], более 50 % от общего количества неисправностей на ВЛ составляют повреждения, связанные с гололёдообразованием. Поскольку современные системы диагностики гололедных отложений довольно узконаправленны, существует необходимость в создании более гибкой, разнонаправленной и адаптивной системы.

Разработанная система выполняет множество функций, среди которых контроль интенсивности гололедообразования на ВЛ в режиме реального времени, диагностика механического износа, остаточных деформаций, контроль температуры ВЛ и др.

Она представляет из себя закреплённый на проводе ВЛ шар из материала, стойкий к внешним коррозирующим воздействиям, в котором (в случае первого варианта исполнения схемы) содержатся различные измерительные приборы и средства передачи информации, в том числе инклинометр, датчик температуры провода, микроконтроллер. На саму опору ВЛ устанавливается тензодатчик. Во втором варианте вся система приборов, а также устройство видеофиксации положения шара, размещается на опоре. Снабжение энергией всех компонентов системы осуществляется с помощью литий-ионных аккумуляторов [2] или их комбинации с устройствами отбора мощности напрямую от ВЛ.

Система выполняет измерение веса гололедных отложений прямым (при помощи тензодатчика) и косвенным (по показаниям инклинометра, размещаемого в шаре, или по данным видеорегистрации координат смещения шара) методами, что позволяет сделать выводы не только о величине гололедных отложений, но и о степени износа самих проводов и о текущих механических характеристиках провода.

Библиографический список

1. **Башкевич, В. Я.** Мониторинг воздушных линий электропередачи, эксплуатируемых в экстремальных метеоусловиях. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2013.
2. **M. Dube, N. Cagnon and A. Hainese.** Non-Invasive Detection of Faults in Power Lines. Worcester: WPI, 2008.

А.В. Лазарева, Е.А. Петрова, студ.;
В.А. Касимов, д.т.н.;
(КГЭУ, г. Казань)

ВАРИАЦИИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В ходе круглогодичных экспериментальных исследований по локационному контролю гололедообразования и повреждений на проводах воздушных линий (ВЛ) были выявлены вариации параметров локационных сигналов при изменении температуры окружающей среды. При этом влияние гололедных отложений значительно превосходит влияние температуры. Поэтому при образовании гололедных отложений в период с отрицательной температурой окружающей среды определение температуры проводов локационным методом будет затруднено. С другой стороны, в летний период из-за высокой температуры окружающей среды наиболее вероятно опасное провисание проводов, в связи с этим задача определения температуры проводов наиболее актуальна в летний период, когда изменение параметров локационных сигналов происходит преимущественно из-за влияния температуры проводов.

Для решения данной задачи было исследовано влияние температуры на запаздывание локационных сигналов (рис. 1).

В результате анализа влияния температуры проводов на запаздывание локационных сигналов установлено, что изменение длины провода вносит вклад в суммарное запаздывание около 3/4, еще 1/4 запаздывания обусловлена изменением удельного сопротивления проводов. Изменения расстояния до земли практически не оказывает влияния.

С использованием полученных зависимостей может быть решена обратная задача по определению температуры и провеса провода по изменениям запаздывания локационных сигналов.

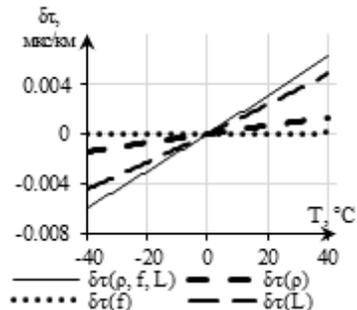


Рис. 1. Зависимость погонного запаздывания $\delta\tau$ сигналов, распространяющихся по ВЛ, от температуры проводов T с учетом изменения влияющих факторов (сопротивления p , стрелы провеса f и длины провода L) вместе и по отдельности

А.В. Лазарева, Е.А. Петрова, студ.;
В.А. Касимов, д.т.н.;
(КГЭУ, г. Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НА ЗАТУХАНИЕ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Одной из причин аварий на воздушных линиях электропередачи (ЛЭП) является то, что под действием нагрузочных токов и высокой температуры окружающей среды в летний период провода могут провисать ниже безопасного расстояния до земли, подобные аварии могут сопровождаться поражением людей электрическим током.

По данным экспериментальных локационных исследований контроль температуры проводов может быть осуществлен локационным методом. Для этого в первую очередь необходимо решить прямую задачу по определению влияния температуры проводов на параметры локационных сигналов. Так изменение температуры проводов будет приводить к изменению длины и провиса провода в пролете, а также изменение удельного сопротивления провода.

Для исследования изменения длины и провиса провода в пролете может быть использовано уравнение состояния провода. А для описания влияния вариаций удельного сопротивления провода на затухание локационных сигналов применяется модель волновых каналов (модальная модель).

В результате исследований для ЛЭП напряжением 110 кВ с горизонтальным расположением проводов, с расстоянием между соседними проводами 2,5 м, высотой подвеса изоляторов 14,5 м было установлено, что ключевым фактором, оказывающим наибольшее влияние на затухание локационных сигналов, является изменение сопротивления провода, два других фактора (стрела провиса и удлинение) оказывают малые воздействия и в первом приближении ими можно пренебречь. При такой конфигурации линии расстояние до земли более чем в два раза превышает расстояние между соседними проводами, поэтому изменение высоты провода практически не влияет на затухание сигналов. Однако для линий более высокого класса напряжений, где соотношение расстояния до земли и расстояния между проводами меньше, изменение высоты провода будет вносить больший вклад в суммарное изменение затухания.

*И.А. Минаев, студ.;
рук. Р.Г. Хузяшев, к.ф.-м.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЛИНИИ С ОТПАЙКОЙ

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются основным видом повреждений. Довольно часто это приводит к пробое изоляции, переходу однофазного замыкания в двойные и тройные замыкания, а также появлению многоместных замыканий на землю с повреждением нескольких линий. Поэтому быстрое и точное обнаружение ОЗЗ в электрических сетях представляет собой актуальную задачу.

Сигналы переходного процесса содержат большое количество зашифрованной информации, которая поможет увеличить надежность методов обнаружения места повреждения. Для расшифровки данной информации необходимо применить модельные методы.

В данной работе было проведено исследование и сравнение сигналов напряжения переходного процесса, сгенерированных в модели линии электропередач в программной среде PSCAD.

Модель (рис. 1) представляла собой десять последовательно соединенных блоков однофазной линии из провода АС-95/16 длиной 10 км. Начиная с нулевого километра, были установлены вольтметры через каждые 10 км. Для ЭДС использовался источник постоянного напряжения 10 кВ с внутренним сопротивлением 1 Ом и индуктивностью 1 мГн. К основной линии также была подсоединена отпайка, состоящая из блоков однофазной линии из провода АС-95/16, в которой изменялась длина и место соединения.

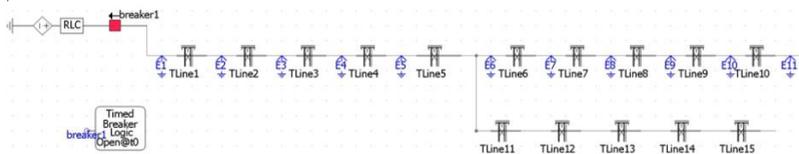


Рис. 1. Модель в PSCAD

Проведённая работа позволила проанализировать влияние отпайки в линии на поведение сигналов переходного процесса. Эту информацию в дальнейшем можно будет применить при функционировании комплексов волнового определения места повреждения для увеличения его надежности и функциональности.

*Д.В. Мясников, студ.;
рук. И.В. Жаринов к.т.н., доц.
(ДПИ НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Дзержинск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙФА ВРЕМЯ-ТОКОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Автоматический выключатель (АВ) – наиболее распространённый аппарат защиты в сетях 0,4 кВ. Этот коммутационный аппарат предназначен для защиты от сверхтоков (короткого замыкания и перегрузки). Для защиты от токов перегрузки предназначен тепловой расцепитель, который представляет собой биметаллическую пластину, нагреваемую протекающим через нее током [1]. Геометрия биметаллической пластины при нагреве изменяется (она изгибается). Зависимость удельного изгиба пластины от времени и величины тока определяет время-токовую характеристику (ВТХ) АВ. Эта характеристика является одним из основных критериев подбора АВ. Существующие методики выбора АВ по ВТХ не учитывают температуру окружающей среды. Так, в жаркую погоду может произойти отключение АВ уже при номинальном токе. Однако, установка АВ, рассчитанного на больший ток, не решает проблему, так как сеть не рассчитана на повышенные токи. Таким образом, необходимо внести поправку при подборе оборудования. Для этого прежде всего нужно установить характер влияния температуры на ВТХ. В нашей работе мы провели серию экспериментов для выяснения дрейфа ВТХ автоматического выключателя при температурах 30°C, 60°C и 90°C. Установлено, что дрейф временных характеристик срабатывания составил 15-35% от номинальных значений. Дальнейшее исследование этой темы позволит дополнить существующие ВТХ и разработать рекомендации по введению конструкторских изменения в автоматические выключатели.

Библиографический список

1. Кузнецов Б. Ф, Пильцов М. В. Моделирование объекта тепловой защиты автоматического выключателя / Б.Ф. Кузнецов – Текст : электронный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 3 (35). – С. 243-250. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-obekta-teplovoy-zaschity-avtomaticheskogo-vyklyuchatelya> (дата обращения: 15.02.2022).

*П.С. Пелевин, асп., А.А. Лоскутов, к.т.н.;
рук. А.Л. Куликов, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛЭП ДЛЯ АНАЛИЗА АЛГОРИТМОВ ВОЛНОВОГО ОМП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

К настоящему моменту уже несколько десятилетий по теме волнового определения места повреждения (ВОМП) ЛЭП ведутся исследования научно-инженерными группами, как в России, так и в других странах. Несмотря на то, что уже разработано множество различных способов ВОМП, ведется поиск новых алгоритмов, позволяющих повысить эффективность ВОМП. Также возникают случаи, когда устоявшиеся методы не вполне применимы из-за особенностей ЛЭП. Например, в случае кабельно-воздушных ЛЭП наличие разнородных участков линии приводит к появлению в измеряемых сигналах напряжения и тока дополнительных возмущений, которые являются помехами для стандартных алгоритмов [1].

Многие исследователи оценивают эффективность разрабатываемых методов ВОМП посредством имитационного моделирования переходных процессов. Часто это связано с тем, что имеющихся в распоряжении реальных осциллограмм недостаточно для полноценной оценки работы алгоритмов. При этом для получения достоверных результатов очень важно, чтобы сигналы, получаемые на модели ЛЭП, в достаточной степени соответствовали реальным.

В докладе приводятся результаты, полученные авторами при анализе процесса разработки и валидации имитационной модели ЛЭП с использованием реальных осциллограмм, записанных с высокой частотой дискретизации (1 МГц и выше), в программном комплексе PSCAD. Ключевым выводом является то, что в модель следует включать, помимо собственно моделируемой ЛЭП, ряд элементов, отражающих различное оборудование электропередачи, в частности, замещающих высоковольтное оборудование подстанций [2].

Библиографический список

1. **A. Kulikov, Aleksey Loskutov, Anton Loskutov and P. Pelevin.** Application of Correlation Methods for Traveling Wave Fault Locating and Automation of Intelligent Electrical Networks, 2019. – International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2019, – pp. 1-6.
2. **A. Kulikov, P. Pelevin and A. Loskutov.** Validation of a simulation model of an overhead transmission line for traveling wave transients investigation by calculating the correlation between simulated and real waveforms, 2021. – International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS), 2021, – pp. 523-528.

А.А. Тимофеев, А.Г. Коцеева студ.;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ СВЫШЕ 1000 В

При междуфазных коротких замыканиях (КЗ) на головных участках кабельных линий (фидерах) 6(10) кВ, отходящих от генераторного распределительного устройства теплоэлектростанций (ГРУ ТЭЦ), наблюдается снижение чувствительности релейных защит (РЗ). Одна из возможных причин возникающей проблемы – влияние асинхронных электродвигателей (АД), гальванически связанных с местом КЗ.

Анализ влияния АД на ток КЗ в электроустановках (ЭУ) до 1000 В изложен в [1], однако, анализ влияния АД на ток КЗ в ЭУ свыше 1000 В ранее не проводился, были даны лишь качественные оценки отсутствия такого влияния в подобных ЭУ [1].

Целью исследования является анализ влияния АД на чувствительность РЗ при КЗ для присоединений, отходящих от ГРУ ТЭЦ, а также разработка практических рекомендаций для снижения рассматриваемого влияния на ток КЗ, чтобы обеспечить чувствительность РЗ. Для выполнения поставленной задачи на основании ГОСТ Р 52735-2007 в программном комплексе Mathcad была разработана математическая модель для учета влияния АД на ток КЗ в ЭУ свыше 1000 В.

Результаты расчетов на фидере нагрузки показывают, что ток КЗ снижается в зависимости от мощности АД и электрической удаленности КЗ на 3 - 22 % от уровня тока КЗ без АД, что приводит к снижению чувствительности основных и резервных защит фидеров нагрузки. Поэтому при выборе уставок срабатывания РЗ необходимо учитывать влияние АД на ток КЗ, чтобы обеспечить достаточную чувствительность. Для снижения влияния АД на ток КЗ в ЭУ свыше 1000 В рекомендуется создать гальваническую развязку электрооборудования ТЭЦ и местной нагрузки: перенести АД с секции ГРУ на секцию комплектного распределительного устройства собственных нужд ТЭЦ.

Библиографический список

1. Платонов И.Д., Липидус А.А. Критерии проявления шунтирующего эффекта асинхронных электродвигателей в сети 0,4 кВ // Научно-технические ведомости СПбПУ., 2010. – №3. – С. 21-27.

Тухфатуллин И.Р., студент; рук. Хузяшев Р.Г., канд. физ.-мат. наук, доц. КГЭУ, г. Казань

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Моделирование распространения СПП отражено в работах [1, 2]. В КГЭУ практическое развитие волнового метода определения места повреждения началось в 2009 г. с оформления соответствующего патента. Из результатов работы комплекса волнового определения места повреждения известны 4 причины возникновения сигнала переходного процесса (СПП): аварийные коммутации; плановые коммутации; частичные разряды; грозовые перенапряжения. Имеется сигнал СПП, являющийся интерференцией переотраженных от концов линии бегущих волн. Затухание сигнала вызывает экспоненциальное уменьшение амплитуды. Параметры однофазной линии электропередач: длина – 100 км; удельное сопротивление – 0,601 Ом/км; внутреннее сопротивление ЭДС – 10 Ом; удельное индуктивное сопротивление – 0,4 Ом/км; удельная емкостная проводимость – 3 мкСм/км. Четырехкратный пробег по линии бегущей волны формирует один период СПП, что соответствует частоте 757,6 Гц. Рассмотрим простейшую схему замещения линии с сосредоточенными параметрами и рассчитаем для нее коэффициент передачи на частоте 666,06 Гц. Значения индуктивного и емкостного сопротивлений, которые соответствуют частоте свободных колебаний, составляют 606,42 и 219,984 Ом соответственно. Зная сопротивления, можно найти коэффициент передачи (K) RLC модели линии с сосредоточенными параметрами. Это отношение выходного напряжения к входному.

Аналогичным образом найдя постоянную времени для второго и третьего периодов, получим 2,46 и 2,63 мс соответственно. Таким образом, было установлено относительное соответствие коэффициентов затухания двух моделей. При сопротивлении ЭДС большим 1 Ом и меньшим 100 Ом будет достигаться наибольшее соответствие моделей. Дальнейшей задачей является интерпретация поведения сигнала переходного процесса при трехфазной модели схемы ЛЭП.

Библиографический список

1. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Новиков С.И. Анализ параметров свободных колебаний в линии электропередач при моделировании замыканий на землю // Электроэнергетика глазами молодежи: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. Иваново, 2015. Т. 2. С. 46–50.
2. Исследование скорости распространения сигналов переходных процессов по воздушным линиям электропередачи / Р.Г. Хузяшев [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13, № 3. С. 24–31.

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

УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Противоаварийная автоматика (ПА) дает команду на выполнение заранее заданных управляющих воздействий (или выполняемых по заранее заданному алгоритму). Перечень основных управляющих воздействий представлен в табл.1.

Срабатывание устройств аварийного управления может быть вызвано следующими факторами:

- 1) команда ПА более высокого уровня – именно так работает локальная автоматика предотвращения нарушения устойчивости;
- 2) значение контролируемой переменной состояния выходит за пределы заданного значения – так работает автономная ПА;
- 3) при отключении линии, трансформатора или генератора – так работают отдельные специальные виды автоматики [1].

Таблица 1. Управляющие воздействия противоаварийного управления

<i>Противоаварийная автоматика</i>							
<i>Типы управляющих воздействий</i>	АПНУ	АЛАР	АОСЧ	АОПЧ	АОСН	АОПН	АОПО
Кратковременная (импульсная) и длительная разгрузка турбин тепловых и атомных электростанций	+						+
Отключение генераторов	+	+		+			+
Отключение нагрузки	+	+	+		+		+
Деление энергосистемы	+	+	+				+
Загрузка генераторов	+		+				+
Электрическое торможение генераторов	+						+
Изменение топологии сети	+						+
Управление мощностью передач и вставок постоянного тока	+				+	+	+

Библиографический список

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

А.С. Алексинский, А.Р. Попов, студ.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ

Математическое моделирование процессов при однофазном замыкании на землю в сети напряжением 6-10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью сложное, и требуется определение частотной-зависимости параметров линий сети. Процессы усложняются из-за случайных условий возникновения замыканий.

Представляется целесообразным фиксировать параметры токов и напряжений при физическом реальном однофазном замыкании на землю в сети. Это позволит достоверное описание процессов, а также определить параметров линий сети.

Встроенные АЦП в микроконтроллеры терминалов РЗА с интервалом дискретизации менее 1 мкс позволяют фиксировать знак первой полуволны волновой стадии и описать форму среднечастотной и стационарной стадий.

Цифровые осциллограммы замыканий из терминалов-агентов сети энергообъекта, например, подстанции, передаются через интернет на удаленный сервер или в “облако” для регистрации в банке данных и последующего анализа. Для организации канала связи между мультиагентной сети и компьютером предусматривается пара медиаконверторов. Связь с удаленным сервером/облаком может осуществляться либо посредством промышленного GPRS/3G/HSPDA/LTE/4G модема, либо посредством маршрутизации из внутренней сети объекта энергосистем. В рамках обеспечения информационной безопасности предполагается использование криптостойких алгоритмов шифрования ([AES](#), [Serpent](#), [Twofish](#)) и построение Абсолютно стойкой (с точки зрения криптографии) системы обмена данных [1]. Так же для обеспечения надежности и безопасности системы в части программного обеспечения (firmware микроконтроллера, прикладное ПО, frontend, backend сервера сбора данных), его исходный код максимально близок к полному соответствию стандартам CWE, SEI Cert, MISRA, OWASP, Autosar

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27019-2021.

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

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ТОКА ПРИ НАСЫЩЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

Насыщение электромагнитных трансформаторов тока (ТТ) является серьёзной проблемой для устройств релейной защиты и автоматики. Данное явление связано с использованием ТТ с замкнутым магнитопроводом на электрических станциях и подстанциях в России. Насыщение магнитопровода может привести к ложным действиям устройств продольной дифференциальной токовой защиты из-за искажения вторичных токов ТТ при внешних коротких замыканиях [1].

Наиболее универсальным решением проблемы насыщения магнитопровода ТТ является восстановление формы кривой приведённого первичного тока во время насыщения, так как данное решение не имеет ограничений в отношении типов релейной защиты для микропроцессорных устройств. Из-за сложности описания магнитной системы электромагнитного ТТ целесообразно выполнять алгоритмы восстановления, в которых не участвует расчет магнитного потока, созданного ферромагнитным материалом сердечника. Предложенный способ восстановления кривой вторичного тока основывается, на неизменности магнитного потока, созданного ферромагнетиком, в те моменты времени, когда магнитная система ТТ находится в насыщении. Приведенный первичный ток вычисляется по данным вторичного тока с помощью следующей формулы:

$$I_{1np}(t) = \frac{L_2}{M_{12}w_2} I_2(t) + \frac{R_\Sigma}{M_{12}w_2} \int_{t_{n1}}^t I_2(t) dt + I_{1np}(t_{n1}) - \frac{L_2}{M_{12}w_2} I_2(t_{n1}),$$

где L_2 – собственная индуктивность вторичной обмотки ТТ; M_{12} – коэффициент взаимной индукции между первичной и вторичной обмоткой; R_Σ – суммарное активное сопротивление вторичной обмотки.

Библиографический список

1. **Кужиков С.Л.** и др. Анализ неселективных действий дифференциальных защит сборных шин при внешних однофазных коротких замыканиях с насыщением трансформатора тока в неповрежденной фазе / Кужиков С.Л., Дегтярев А.А., Дони Н.А., Шурупов А.А., Петров А.А., Костарев Л.Н., Кошельков И.А. // Релейная защита и автоматизация. 2019. – № 1(34). – С. 28-36.

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

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32F769

Подробная и понятная техническая документация для каждого из микроконтроллеров семейства STM32 (МК), которая не претерпевает кардинальных изменений в структуре информации и способах описания отдельных модулей микроконтроллера (описание процесса инициализации, названия регистров и т.д.) при переходе к разным сериям, а также высокая производительность, низкая стоимость и большое количество сред для разработки делают продукцию компании STMicroelectronics подходящей для практической реализации алгоритмов защит и способов измерения электрических величин.

Используемый для реализации реле сопротивления микроконтроллер STM32F769NII, входящий в состав отладочной платы STM32F769I-DISCO, обладает всеми необходимыми модулями для измерения электрических величин с их последующим математическим преобразованием: ядро Arm 32-bit Cortex-M7 с максимальной тактовой частотой 216 МГц; SRAM (512 Кбайт) флеш-память (2 Мбайт); три 12-битных аналого-цифровых преобразователей последовательного приближения; устройство прямого доступа в память, облегчающее сбор данных от периферии микроконтроллера (DMA). Отладочная плата содержит встроенный программатор ST-LINK/V2-1, набор электронных преобразователей для питания микроконтроллера, кварцевый резонатор 25 МГц, а также интерфейс Ethernet и TFT LCD дисплей, который позволяет организовать мониторинг измеренных электрических величин.

Для написания программного кода на языке Си и прошивки МК использована среда разработки для ARM-процессоров Atollic TruStudio, включающая в себя GNU компилятор и отладчик. Управление МК осуществляется с помощью библиотеки CMSIS, упрощающую работу с регистрами, которые описываются в технической документации на серию МК [1].

Библиографический список

1. **RM0410** Reference manual STM32F76xxx and STM32F77xxx advanced Arm®-based 32-bit MCUs.

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

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА RTDS И УСИЛИТЕЛЯ PONOVO PAV 5000 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Разрабатываемые в ИГЭУ цифровые измерительные трансформаторы тока и напряжения выполняются на основе нетрадиционных измерительных преобразователей. Исследование их статических и динамических характеристик является важной задачей. Проводимые ранее исследования были ограничены инструментальной базой [1, 2]. В частности, для снятия АЧХ использовался испытательный комплект СМС 356 (производитель Omicron, Австрия) диапазон выдаваемых величин которого ограничен пределом 1 кГц и мощностью выдаваемого сигнала 1740 ВА по току и 275 ВА по напряжению.

Существенные преимущества для проведения исследований открываются за счет использования современного оборудования программно-аппаратного комплекса RTDS и усилителей PAV 5000. Моделирующий комплекс позволяет генерировать и усиливать сигналы в частотном диапазоне от 0 до 5кГц с выходной мощностью до 5 кВт на фазу.

В целях согласования по уровням тока и напряжения разработаны и изготовлены широкополосные силовые трансформаторы, на которые планируется подавать сигналы от усилителей PAV 5000, а уже трансформированные физические величины подаются на исследуемые первичные преобразователи тока и напряжения.

Физическое моделирование совместно с имитационным моделированием позволит исследовать характеристики измерительных преобразователей, а также верифицировать математические модели с высокой точностью в широком частотном диапазоне.

Библиографический список

1. **Исследование** характеристик и оптимизация параметров датчика тока цифрового измерительного трансформатора тока / Лебедев В.Д., Нечаев Е.В., Шелудько М.В., Яблоков А.А./ Энергия-2017. Материалы конференции. Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2017. – С. 125-126
2. **Исследование** частотных свойств первичных преобразователей напряжения, предназначенных для микропроцессорных устройств релейной защиты и измерений / Лебедев В.Д., Лебедева Н.В./ Радиозлектроника, электротехника и энергетика. Двадцать третья международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, 2017. – С. 422.

Д. Дмитриевич, студ.;
рук. Фролова О.В., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФУНКЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА БАЗЕ МОДЕЛЬНОГО МЕТОДА

Линии электропередач высокого напряжения – довольно часто повреждаемые элементы электроэнергетической системы. Выход из работы линии всегда сопровождается или недоотпуском электроэнергии, или снижением надежности, себестоимости и качества электроснабжения. Поэтому одной из важнейших задач линейных ремонтных служб предприятий электросетей является быстрейший поиск места повреждения и организация ремонтно-восстановительных работ. В случае качественного выполнения функции определения места повреждения (ОМП) ремонтная бригада быстро находит повреждение и в сжатые сроки может приступить к ремонту.

Линия не является автономным объектом. Она существует в рамках некой электроэнергетической системы (ЭЭС). Для получения точных данных о повреждении создается математическая модель этой системы, которая содержит следующую информацию: описание структуры линии, описание параметров измерительных трансформаторов, режим работы нейтрали.

Линия, на которой определяется ОМП представляется математической моделью, которая позволяет: содержать до девяти однородных участков, иметь отпайки, учитывать в конфигурации сети смежные линии.

Поиск места короткого замыкания основан на использовании упрощенного модельного метода. Его суть заключается в итерационном расчете реактивной мощности при КЗ на различных участках линии, с шагом в 10м. Погрешности в расчете уставок корректируются с помощью итераций. При автоматическом повторном включении линии алгоритм позволяет уточнить задаваемые уставки.

Исследование алгоритма производится с помощью моделирования схемы ЭЭС и алгоритма ОМП в программных комплексах PSCAD и MATLAB.

Данная работа актуальна для изучения, так как еще существуют большие погрешности при определении точного места повреждения. В результате данной работы планируется найти ошибки и неточности в алгоритме, попробовать отладить их и исправить.

Д.В. Елсуков, маг.;
рук. Т.Ю. Шадрикова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛЬ ВОЗДУШНОЙ СЕТИ 10 кВ С ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ В PSCAD

Ежегодно выработка электроэнергии генераторами ветроэнергетических установок (ВЭУ) растет. Спецификой работы ВЭУ является неравномерная выработка электроэнергии ими, оказывающая влияние на параметры установившегося и переходного режимов работы сети.

Целью работы является анализ установившихся и переходных режимов в воздушной электрической сети среднего напряжения 10 кВ при однофазных замыканиях на землю, междуфазных КЗ и аномальных режимов для исследования их особенностей, которые могут быть использованы при разработке новых алгоритмов РЗА от вышеуказанных видов повреждений и совершенствовании существующих.

Метод исследования – имитационное моделирование в программном комплексе PSCAD с применением стандартных блоков, имитирующих ВЭУ и преобразователи для их подключения, а также частотно-зависимые модели воздушных ЛЭП.

Исследуемая модель упрощенной электрической сети напряжением 10 кВ в PSCAD содержит основной источник электроэнергии (систему), поврежденную и неповрежденные воздушные линии и ВЭУ. Модель ветроэлектрической установки состоит из источника ветра с возможностью задания различных режимов работы, механической турбины с регулятором выходной мощности со статическим или динамическим регулированием и синхронный генератор с постоянными магнитами. Для подключения ветроэлектрической установки к сети предусмотрен AC/DC/AC преобразователь, а также повышающий трансформатор. Преобразователь состоит из диодного выпрямителя, тиристорного инвертора и фильтра высших гармоник.

Исследование на модели позволило определить гармонический состав фазных напряжений и токов, а также напряжения и токов нулевой последовательности в месте повреждения и на неповрежденных присоединениях в установившихся и переходных режимах при однофазных замыканиях на землю, междуфазных КЗ и аномальных режимов. Выявлены особенности, которые могут быть использованы при разработке новых алгоритмов РЗА от вышеуказанных видов повреждений и совершенствовании существующих.

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

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОГО БЛОКА ПИТАНИЯ С ТИРИСТОРНОЙ ЗАЩИТОЙ ДЛЯ ЦТГН

Организация резервированного питания электронных модулей цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения (ЦТГН) является ключевой задачей, обеспечивающей надежность работы ЦТГН. Резервирование питания наилучшим образом обеспечивается от источников, построенных на различных физических принципах [1]. Например, в номинальных режимах и режиме холостого хода питание обеспечивается блоком питания от напряжения линии (БПН), а в режимах короткого замыкания (КЗ), при пусковых токах или качаниях, когда напряжение на линии снижается до существенно низких значений, происходит резервирование с помощью блока питания от тока (БПТ). При этом желательно, чтобы БПТ работал в максимально широком диапазоне первичных токов с учетом физических ограничений.

Во-первых, большое сечение магнитопровода питающего трансформатора тока (ПТТ), входящего в состав БПТ, обеспечивающее работу ЦТГН при малых первичных токах, ограничено габаритными размерами, а вторых, при больших первичных токах на выходе БПТ формируется недопустимо высокое напряжение, даже в условиях насыщения ТТ.

В рамках данной работы разработана схема тиристорной защиты (ТЗ), в которой тиристор, срабатывая, закорачивает дополнительную обмотку. При выборе параметров ТЗ учитывалось то, что время ее включения прямо зависит от амплитуды первичного тока: чем она больше, тем раньше срабатывает защита и тем меньше энергии идет на питание, при высоких значениях первичного тока происходит перерегулирование, и энергии для питания может не хватить.

С учетом указанных и других ограничений разработана и исследована методика расчета БПТ с ТЗ на основе имитационного моделирования. Полученные имитационные модели положены в основу разработки макетных образцов для проведения натурных испытаний и верификации разработанных моделей.

Библиографический список

1. **Исследование** динамических процессов перемagnичивания насыщаемого трансформатора блока питания от первичного тока линии, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, «Энергия-2021», Т.3 / Д.М. Идрисов, рук. В.Д. Лебедев.

Н.В. Кузьмина, асп.;
рук. Г.А. Филатова, В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ДРЕВОВИДНОЙ СТРУКТУРОЙ

Проведение периодических осмотров, профилактических измерений и испытаний не гарантирует безотказной работы воздушных линий электропередач (ВЛ). В практической эксплуатации всегда имеют место случайные повреждения ВЛ: однофазные и многофазные замыкания, обрывы проводов и др. Одной из важных задач эксплуатации ВЛ является быстрое определение места повреждения (ОМП) и проведение ремонтно-восстановительных работ. При большой протяженности и разветвленности распределительных сетей указанная задача может эффективно решаться только при использовании специальных технических средств.

Традиционно используемые методы и устройства определения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях электропередач (ЛЭП) зачастую не обеспечивают приемлемую точность. Отдельную сложность представляет ОМП ОЗЗ на разветвленных ЛЭП. Для таких ЛЭП разрабатываются специальные способы, описанные в [1], которые основаны на использовании аварийных составляющих параметров режима, вследствие чего это приводит к уменьшению их точность, что в свою очередь влияет на бесперебойность системы электроснабжения.

Исследовательским коллективом ИГЭУ были разработаны алгоритмы ОМП, где повышение точности дистанционного ОМП на воздушных ЛЭП достигается за счет применения цифровых измерительных преобразователей тока и напряжения [2]. Один из алгоритмов основан на двухстороннем замере мгновенных значений токов и напряжений при КЗ для линий сложной конфигурации. Второй метод реализуется с помощью указателей ОЗЗ, с использованием инновационных датчиков тока и напряжения.

Техническим результатом является повышение скорости, удобства и точности определения мест повреждений.

Библиографический список

1. Патент № 2532760 С1 Российская Федерация, МПК G01R 31/08. Способ определения места повреждения разветвленной линии электропередачи: № 2013115603/28: заявл. 05.04.2013; опубл. 10.11.2014 / А. Л. Куликов.

2. V. Lebedev, G. Filatova and N. Kuzmina, "Development of a Method for Location of a Damaged Overhead Power Line Section in Case of Single-Phase Earth Faults," 2021. International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021, – pp. 134-140, doi: 10.1109/UralCon52005.2021.9559544.

А.Р. Попов, А.С. Алексинский, А. Богдан студ.;
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОРТЫ ТОКОВ ТЕРМИНАЛА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С РАСШИРЕННОЙ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ЧАСТОТ

Для терминала релейной защиты в сети напряжением 6-10 кВ необходимо разрабатывать порты токов, которые преобразуют вторичные токи трансформаторов тока в напряжения удобного диапазона для АЦП встроенного микроконтроллера. Терминал должен функционировать в режимах междуфазных коротких замыканий, однофазного замыкания на землю, при броске тока намагничивания трансформатора, при токе самозапуска электродвигателя. Для выделения аperiodической составляющей тока нижняя частота пропускания канала должна быть нулевой, а при волновых токах однофазного замыкания на землю верхняя частота в несколько сотен килогерц. Значения первичных высокочастотных переходных токов необходимо измерять до сотен ампер.

Требуемый частотный диапазон обеспечивает преобразователь тока на основе линейного аналогового датчика Холла. Промышленность выпускает преобразователь в одном корпусе датчик Холла, операционный усилитель и элементы питания (например, SS49E [1]). Преобразователь, согласованный с АЦП микроконтроллера, формирует однополярный выходной сигнал со смещением нулевого уровня двухполярного измерительного сигнала на $0.5U_{пит}$. и динамический выходной диапазон $\pm 0.3 U_{пит}$ при измерительном диапазоне индукции ± 100 мТл. Выходная характеристика $U_{вых}=f(B_{вх.})$ линейная. Преобразователь размещается в разрезе магнитопровода ферромагнитного кольца. Для расширения динамического канала тока в цепи следует установить два кольца, причём в чувствительном канале тока при меньшей границе диапазона на магнитопроводе выполняется многovitковая обмотка; для расширения верхней границы – пропускают один провод через кольцо, а зазор может быть увеличить. В работе рассчитываются параметры.

Терминал РЗА с каналом замера аperiodическим током повысит эффективность функционирования мгновенной токовой отсечки.

Библиографический список

1. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/533446/HONEYWELL-ACC/SS49E.html>.

*М.А. Симонов, студ.,
рук. А.А. Фомичев, А.С. Лифшиц, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ СХЕМЫ «СИСТЕМА-ГЕНЕРАТОР» В ФАЗНЫХ КООРДИНАТАХ

В настоящее время расчет нормальных, несимметричных, несинусоидальных режимов электроэнергетических систем в большинстве случаев производится с использованием метода симметричных составляющих – в симметричных координатах. При этом из-за неучета несимметрии элементов сети в расчеты вносятся погрешности, которые в некоторых случаях могут приводить к существенному искажению результатов. Другой проблемой является то, что расчеты специальных режимов с большим числом несимметрий в схеме (многократные обрывы фаз, многократные КЗ и др.) проводить в симметричных составляющих сложно, а иногда и невозможно.

Данные проблемы можно решить, применяя фазные координаты (ФК), которые в настоящее время на практике для расчетов используются редко, так как раньше были ограничения по ресурсам вычислительной техники, а сейчас нет методик и программных комплексов. Отметим, что расчеты в ФК требовательны к быстродействию вычислительного компьютера и объему оперативной памяти из-за большой размерности системы уравнений.

Работа посвящена разработке расчета несимметричных режимов методом фазных координат. Конечной целью является разработка полноценного алгоритма расчета для схем с множеством активных элементов.

Библиографический список

1. **С.Б. Лосев, А.Б. Чернин.** Вычисление электрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.
2. **Лифшиц А.С.** Совершенствование методов и средств исследования динамических режимов функционирования релейной защиты электроэнергетических систем / Дисс. канд. техн. наук. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2008.

А.Р. Тычкин, студ.; Ф.А. Куликов, асп.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н, доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРОВ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Система мониторинга электромеханических переходных режимов (СМНР), построенная на базе устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ), используется для решения вопроса централизованного контроля режимов работы электрических станций и сетей. Несмотря на то, что УСВИ предназначены для контроля электромеханических переходных процессов, контроля режима работы генераторов и линий сверхвысокого напряжения (СВН), всё чаще возникают предложения применения их для мониторинга электромагнитных переходных процессов, например, определения места повреждения (ОМП).

Фильтры УСВИ обладают отличными друг от друга динамическими характеристиками: *time delay*, *response time*, *overshooting*, *undershooting* [1]. Динамические характеристики фильтра влияют на полную векторную погрешность (TVE) УСВИ. В связи с тем, что время отключения короткого замыкания на линиях СВН может составлять два периода промышленной частоты, динамические характеристики фильтров УСВИ играют ключевую роль в возможности построения системы ОМП на базе УСВИ.

В докладе будут представлены результаты испытаний фильтров класса М и Р различных УСВИ и сделаны практические выводы о применимости УСВИ для мониторинга электромагнитных переходных процессов.

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: Synchronphasor for power systems [Стандарт], 2018.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ С СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

Одним из современных направлений развития электроэнергетики является использование возобновляемых источников энергии. При увеличении числа солнечных электростанций (СЭС) в электрических сетях среднего напряжения все более актуальной становится проблема правильного функционирования релейной защиты и автоматики указанных сетей.

Специализированный программный комплекс PSCAD позволяет создать наиболее точную имитационную модель СЭС, включающую блок Photovoltaic source (имитирует солнечную панель), блоки Irradiation и Temperature (записывает значений инсоляции и температуры), последовательное сопротивление R_{SR} (отражает омические потери солнечного элемента), шунтирующее сопротивление R_{SH} (описывает токи утечки через p-n переход солнечного элемента).

Для исследования работы существующих защит от однофазных замыканий на землю и междуфазных КЗ в переходных и установившихся режимах модель СЭС подключена к модели электрической сети 10 кВ, состоящей из частотно-зависимых моделей поврежденной и неповрежденной кабельных ЛЭП Frequency Dependent (Phase) Model. Кабельные линии части сети представлены в виде эквивалентных междуфазных емкостей и емкостей фаз на землю. Нейтраль сети заземлена через дугогасящий реактор.

В ходе работы изучен принцип действия СЭС и ее составных частей (солнечных элементов, солнечных панелей), эквивалентной схемы солнечного элемента и его основных характеристик. Исследованы зависимости характеристик солнечной электростанции и разработаны алгоритмы отслеживания точки максимальной мощности. Имитационная модель СЭС подключается к модели кабельной сети 10 кВ через буферный конденсатор, преобразователь постоянного напряжения (DC/DC преобразователь), выходной фильтр (LCL-фильтр) и инвертор. Адекватность модели проверена на основе сравнения величин токов и напряжений, полученных на упрощенных схемах замещения исследуемой сети.

Для защиты смоделированной сети с СЭС от однофазных замыканий на землю и междуфазных КЗ разработаны алгоритмы токовой защиты нулевой последовательности и максимальной токовой защиты.

*Д.С. Шарыгин, вып.; Е.Е. Готовкина, асп.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАТУШЕК РОГОВСКОГО ДЛЯ ЗАДАЧ ОМП

Определение места повреждения (ОМП) на линиях электропередач (ЛЭП) является одной из наиболее важных функций современных систем автоматизации, которая реализуется программными и аппаратными средствами. Разработка новых и совершенствование существующих методов оценки расстояния до повреждения с целью достижения более высокой точности при наличии влияющих на замер факторов остаются актуальными задачами.

Погрешности методов определения места повреждения можно разделить на инструментальные (погрешности измерительных преобразователей), методические (погрешности метода) и моделирования (неадекватность математической модели реальному объекту: нарушение структуры и неточность задания параметров).

Применение нетрадиционного датчика тока на базе катушки Роговского позволяет снизить инструментальную погрешность методов ОМП. Данный вид первичных преобразователей позволяет измерять токи в широком диапазоне (от нескольких мА до нескольких кА) без искажения формы тока из-за эффекта насыщения сердечника, его мгновенная погрешность при преобразовании токов КЗ нормируется на уровне 1% (класс точности ТРЕ), при этом погрешность измерения не зависит от температуры окружающей среды. Зависимость амплитудной и угловой погрешностей от частоты у катушки Роговского значительно меньше по сравнению с традиционными электромагнитными трансформаторами тока, что может быть использовано для совершенствования волновых методов ОМП. Выходным сигналом катушки Роговского является напряжение пропорциональное производной тока, что также может быть использовано для совершенствования методов, основанных на дифференциальном уравнении линии.

В докладе будут представлены характеристики различных катушек Роговского и анализ эффективности их использования для задач определения места повреждения.

Исследование выполнено в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00122, <https://rscf.ru/project/21-79-00122/>.

Д.С. Шарыгин, спец.;
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
(РТСофт-СГ; ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МНОГОФАКТОРНОГО ОМП НА ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Целью работы является разработка алгоритма для исследований на основе одностороннего ОМП по параметрам аварийного режима (ПАР) [1] при вариации множества искажающих замер факторов, учете эффекта насыщения ТТ и остаточной намагниченности, частоты дискретизации мгновенных значений токов и напряжений, а также вычисление погрешностей при обозначенном подходе и организация оценки точности используемой методики в алгоритме ОМП.

Исследования алгоритма проводились на модели электрической сети с сосредоточенными параметрами 500 кВ, разработанной в программе имитационного моделирования Simulink. Данная модель управляется кодом, написанным на языке Matlab, посредством которого, задаются параметры энергетического оборудования, модель используемого ТТ, частота дискретизации, количество итераций для функции, изменяющиеся параметры, их диапазоны и шаги варьирования, факторы (условия возникновения КЗ) и условия вычислений.

Оценка погрешностей алгоритма ОМП производится для каждой итерации изменяющегося фактора. В завершении цикла выводятся структуры данных со значениями места повреждения, вычисленных погрешностей и графики зависимостей погрешностей от влияющего на замер фактора.

Основное достоинство представленной методики — это возможность учёта особенностей ЛЭП любой сложности и достижение поставленной точности итерационным методом. Многофакторность и проведение множественных экспериментов предоставляют возможность проведение параллельных циклов расчетов на каждом отдельном ядре локального компьютера посредством использования функции «parfor». Микропроцессорные расчеты и расчеты на видеокартах дают возможность быстрой обработки большого количества информации, что способствует использованию методов машинного обучения.

Библиографический список

1. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: Учебное пособие/ Иванов. гос. энергет. ун-т, – Иваново, 1998. – 74 с.

*Д.С. Шарыгин, вып.; А.В. Панащатенко, вып.
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Вопросу применения цифровых трансформаторов в последнее время уделяется все большее внимание. В современных условиях, когда потенциал улучшений традиционных электромагнитных трансформаторов практически исчерпан применение цифровых трансформаторов позволяет пересмотреть подходы к созданию алгоритмов, применяемых в составе УРЗА, а также упростить методики выбора уставок. Обширный научный интерес к применению новых типов измерительных датчиков объясняется новизной и перспективностью данных устройств. Их развитие стало возможным благодаря развёрнутому строительству высокоавтоматизированных (цифровых) подстанций в соответствии с требованиями международного стандарта IEC 61850.

На базе научно-образовательного полигона ИГЭУ «Цифровая подстанция» были исследованы следующие характеристики датчиковой системы цифрового трансформатора:

1. Метрологические характеристики (погрешность коэффициента трансформации, угловая погрешность).
2. Диапазон измеряемого тока с нормируемыми метрологическими характеристиками.
3. Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики.
4. Метрологические характеристики при преобразовании тока короткого замыкания, в том числе аperiodической составляющей.
5. Работа в режимах коммутации выключателя (исследование быстрых изменений значения тока в режимах без короткого замыкания).
6. Зависимость метрологических характеристик от температуры окружающей среды.
7. Метрологические характеристики при применении интегрирования выходного сигнала катушки Роговского с целью получения значения измеряемого тока.

Полученные результаты позволили определить ряд изменений, которые можно внести в алгоритмы УРЗА с целью увеличения быстродействия, надёжности функционирования и упрощения методики выбора уставок и используемых алгоритмов в целом.

СЕКЦИЯ 16

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

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

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

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

ОСВОЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ НА ФЛОТЕ

За последние годы появилось много информации о беспилотных судах, которые в данный момент являются одним из перспективных направлений применения информационных технологий в области морского и речного флота.

При реализации перехода к безэкипажному судовождению возрастает мощность судовой электростанции, которая берет на себя питание высокопроизводительных вычислительных центров, датчиков для контроля важных показателей на судне и исполнительных механизмов, регулирующих работу судовой энергетической установки. Пока современные автономные суда только тестируются на небольших маршрутах. Параллельно с этим «обкатывается» технология полностью электрических судов на аккумуляторных батареях (например, электрический автономный контейнеровоз Yara Birkeland с батареей емкостью 7 МВт/ч) и гибридных судов. Также есть проект, заключающийся в обеспечении энергией гребных электродвигателей от сжигания «зеленого водорода» — его производят исключительно с помощью экологически чистых источников.

Особое внимание требуется уделить электромагнитной совместимости систем управления и передачи/приёма данных в условиях электрической насыщенности судна различными электрическими и электронными устройствами, создающими помехи различной интенсивности и диапазона [1]. Судовые системы в режиме реального времени осуществляют обнаружение, идентификацию и классификацию близких и отдаленных целей. Электрооптические системы позволяют лицу, управляющему судном, дистанционно видеть, как перспективу, так и конкретные цели. В случае помех в линиях управления, ошибка может привести к аварийным ситуациям.

В скором времени, беспилотные суда смогут занять лидирующее место в морском флоте благодаря своей надежности, экономичности и безопасности.

Библиографический список

1. Сеньков А.П., Дмитриев Б.Ф., Калмыков А.Н, Токарев Л.Н. Судовые единые электроэнергетические системы, Российская электротехника, 88(5), 2017. – С. 253-258.

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

ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ НА СУДАХ

Синхронный двигатель с постоянными магнитами — это синхронный электродвигатель, индуктор которого состоит из постоянных магнитов.

Синхронные машины с постоянными магнитами совмещают простоту конструкции двигателей переменного тока и возможности управления ДПТ. К недостаткам синхронных электродвигателей относятся необходимость применения дополнительного оборудования для пуска и входа в синхронный режим, возможность размагничивания ротора при высоких температурах, необходимость установки датчиков обратной связи. Создание частотных преобразователей и современных материалов для магнитов позволило решить эти проблемы.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами или магнитоэлектрические электродвигатели не имеют обмоток возбуждения на роторе. Вращение осуществляется за счет взаимодействия магнитных полей обмоток статора и постоянных магнитов, размещенных на роторе электродвигателя.

Преимущества синхронных электродвигателей с постоянными магнитами:

- простота конструкции и отсутствие потерь на возбуждение;
- поддержание момента на валу, независимо от скорости вращения ротора;
- высокий к.п.д. во всем диапазоне частот вращения ротора, в том числе и на пониженных скоростях.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами превосходят машины постоянного тока по возможности и точности управления. Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами выпускают малой и средней мощности. Их широко применяют в системах автоматизации, оборудовании с высокими требованиями к стабильности частоты вращения.

В зависимости от особенностей конструкции, существует несколько типов синхронных двигателей с постоянными магнитами. При этом, они обладают разными эксплуатационными качествами. По типу установки ротора, можно выделить следующие типы конструкции:

- с внутренней установкой – наиболее распространенный тип расположения;
- с внешней установкой или электродвигатель обращенного типа. Постоянные магниты включены в конструкцию ротора. Их изготавливают из материала с высокой коэрцитивной силой;

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами оптимально применять в винторулевых колонках типа Aziprod. В будущем данный тип электродвигателя имеет огромный потенциал использования для работы на судах.

Библиографический список

1. **Забудский Е.И.** Электрические машины. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2008. – 197 с.

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

ПЛАНАРНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ КАК НОВАЯ ТЕНДЕНЦИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Современная тенденция к снижению габаритных размеров привела к появлению планарных трансформаторов. Планарная технология изготовления индуктивных элементов даёт возможность выполнения роли обмоток – дорожкам на печатной плате или участке меди, нанесенных способом печати и разделенных слоями изоляционного материала, так же обмотки могут быть сконструированы из многослойных печатных плат. Эти обмотки помещаются среди малоразмерных ферритовых сердечников. Конструкцию планарных трансформаторов можно разделить на несколько типов. Ближе всего к обычным индуктивным компонентам находятся навесные планарные компоненты, которые можно использовать вместо обычных деталей на одно- или многослойных печатных платах.

Одно из главных отличий от проволочной намотки – небольшая высота. Это позволяет применять планарные компоненты в стойном и портативном оборудовании с высочайшей плотностью монтажа.

Планарные магнитные составляющие отлично подходят для разработки высокоэффективных импульсных преобразователей мощности. Небольшая индуктивность рассеяния даёт возможность уменьшить скачки и колебания напряжения, что является одним из дополнительных источников помех.

Можно предположить, что в ближайшем будущем планарные устройства полностью вытеснят традиционные трансформаторы с проволочной обмоткой за счет своих технических преимуществ и удешевления производства.

Библиографический список

1. **Голоданов Ю.М.** Контроль за состоянием трансформаторов, Энергоатомиздат, 2017. – 859 с.

М.Е. Харитонов,
рук. В.Р. Иванова, к.т.н., доц.;
(КГЭУ, г. Казань)

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПРОВОДНЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В настоящее время в области автомобилестроения наблюдается тенденция роста выпуска нового типа транспортных средств – электромобилей. К выпуску подключились многие автомобильные компании: *Mitsubishi, Nissan, Volkswagen, Toyota, Jaguar, Renault* и другие. В итоге экологически чистый транспорт стал более доступным.

Конструктивное исполнение таких устройств имеет более простую схему, источником питания служит батарея и оно проще в обслуживании. Несмотря на большое количество преимуществ, имеется ряд недостатков, в первую очередь связанных с низкой скоростью зарядки электромобилей и со слабо развитой инфраструктурой зарядных станций в стране.

В работе исследуется перспективный способ решения указанных проблем. Для этого предполагается разработка универсальной зарядной станции. Универсальность будет заключаться в беспроводной зарядке с помощью платформы, которая будет генерировать мощное электромагнитное поле, при этом электрокары также будут оснащены специальными устройствами (с катушками), которые будут способны к преобразованию магнитного поля в электроэнергию. При таком исполнении транспортному средству будет достаточно заехать на соответствующую платформу и находится на ней до полной зарядки батареи.

Главным преимуществом данного типа беспроводного зарядного устройства станет отсутствие проводов и разъемов для подключения, что упростит схему и сделает ее более безопасной в эксплуатации. Использование постоянного тока позволит достигнуть высокого уровня скорости зарядки.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (соглашение № 075-03-2022-151 от 14.01.2022).

Библиографический список

- 1. Лудо Серж, Бриан Бенуа, Плуа Оливье, Вильнев Арно.** Быстродействующее зарядное устройство для электромобиля, № патента RU 2526324 С2, 2014.
- 2. Белянский М.** Решения TE CONNECTIVITY для электромобилей: соединители для зарядных устройств, аккумуляторов и систем управления питанием. Компоненты и технологии, № 7(228), 2020. – С. 83-85.

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

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ИНДУКТИВНОСТЕЙ РАССЕЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Силовой трансформатор – значимый элемент энергосистемы, от которого зависит надёжность передачи электроэнергии [1].

Для снижения затрат и увеличения надёжности энергоснабжения требуется с высокой точностью считывать характеристики магнитного поля. При этом большое значение имеет точность расчёта потоков рассеяния.

Поток рассеяния – это линии магнитной индукции, не проходящие через сердечник и замыкающиеся через пространство, занятое обмотками, между секционными прокладками, воздухом и металлическими деталями, вокруг катушек.

Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов предназначены для постоянного измерения, обработки и отображения основных параметров трансформаторов в аварийных, предаварийных и нормальных режимах.

Основными параметрами трансформатора являются: номинальное входное/выходное напряжение, номинальная полная мощность, частота, ток холостого хода (в % от номинального), напряжение короткого замыкания (в % от номинального), активная мощность в режиме XX и КЗ.

Сейчас есть большая вариативность в методах определения индуктивностей рассеяния при известной геометрии силового трансформатора. В большинстве случаев эти методы аналитические и реальную геометрию трансформаторов нужно учитывать с помощью приближенных коэффициентов.

Метод 3D моделирования позволяет определить величины магнитного потока и потока рассеяния, а благодаря им, индуктивность рассеяния. При использовании определенных граничных условий, метод 3D моделирования позволяет рассмотреть только поле рассеяния без учета магнитного потока. Благодаря такой модели исследования искомые индуктивности определяются, довольно, просто и точно.

Библиографический список

1. Буль О. Б. Методы расчёта магнитных систем электрических аппаратов. – М.: Академия, 2006. – 288 с.

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

КОМПАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Внедрение цифровых технологий в электроэнергетику сопровождается созданием нового электроэнергетического оборудования с улучшенными техническими характеристиками. Применение цифровой передачи данных от измерительных преобразователей тока и напряжения открывает возможности разработки компактных устройств с низкими массогабаритными показателями. Нетрадиционный первичный преобразователь в виде резистивного делителя наилучшим образом подходит для измерения напряжений при использовании цифровых протоколов передачи данных. Он обладает низкими массогабаритными показателями, не подвержен явлениям остаточного заряда (в отличие от емкостных делителей), имеет низкий температурный коэффициент сопротивления, при его работе не возникают опасные феррорезонансные явления. В качестве первичного преобразователя тока может использоваться малогабаритный электромагнитный трансформатор или катушка Роговского. Указанное сочетание первичных преобразователей, объединенное в единую конструкцию, позволяет организовать высокоточные измерения токов и напряжений при низких массогабаритных показателях.

Основной целью настоящей работы является разработка конструкции первичного комбинированного преобразователя тока и напряжения, а также проведение исследований его характеристик как на имитационных математических моделях, так и на экспериментальных образцах.

На погрешность преобразования напряжения резистивным делителем существенное влияние оказывают как характеристики его элементов, так и их расположение относительно токопровода и заземленных частей преобразователя. Погрешность преобразования тока малогабаритным трансформатором в свою очередь зависит от геометрических размеров магнитопровода, количества витков вторичной обмотки и марки стали. Проведенные авторами исследования на имитационных математических моделях с распределенными параметрами позволили оптимизировать конструкцию компактного преобразователя и разработать технические решения для достижения точности преобразования, требуемой классами 0.2 (напряжение) и 0.2S (ток).

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАТУШЕК РОГОВСКОГО

Описание измерительного преобразователя переменного и импульсного токов, получившего впоследствии название «катушка Роговского», было дано В. Роговским и В. Штайнхаусом в 1912 году. В настоящее время данный вид преобразователей рассматривается как альтернатива традиционным электромагнитным трансформаторам тока. Катушки Роговского нашли широкое применение не только в составе различных испытательных установок, но и для измерения тока и учета электроэнергии в электро-технологических установках. Применение катушки Роговского для целей релейной защиты и автоматики, а также коммерческого учета электроэнергии на электроэнергетических объектах Единой энергетической системы требует проведения широкого круга экспериментальных исследований технических характеристик данного вида измерительных преобразователей.

Основной целью настоящего исследования является изучение метрологических характеристик катушек Роговского для определения возможности их использования на открытых и закрытых распределительных устройствах, а также разработка рекомендаций по технологии их изготовления.

Авторами проведены исследования метрологических характеристик катушек Роговского в температурном диапазоне от -60 до $+70$ °С, в частотном диапазоне до 3 кГц, при измерении токов короткого замыкания с использованием различных типов интеграторов.

В результате выполненных экспериментальных исследований разработаны рекомендации по использованию материалов для изготовления катушек Роговского, а также технологии их изготовления для достижения требуемой точности измерений для коммерческого учета электроэнергии (класс точности 0,2S) и релейной защиты (класс точности 5TPE).

**Ф.Т. Юсупова, базовый докторант;
рук. А.М. Касимохунова
(ФерПИ, г. Фергана, Узбекистан)**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАЛОЙ МОЩНОЙ СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ С ПРОГРАММОЙ MATLAB SIMULINK

Солнечная энергия, являющаяся разновидностью возобновляемого источника энергии, служит для преобразования излучения, попадающего на солнечную панель, непосредственно в электричество. В дальнейшем строительство мощных солнечных фотоэлектрических электростанций с использованием солнечной энергии в энергетике по всему миру будет продолжать расти [1]. Одной из актуальных задач в Узбекистане является расширение использования солнечных электростанций, сохранение природных ресурсов, передача их будущим поколениям и развитие системы электроснабжения потребителей без ущерба для окружающей среды.

В настоящее время широко используются монокристаллический кремний, поликристаллический кремний и тонкослойные типы фотоэлектрических преобразователей. Солнечные панели эффективно преобразуют солнечное излучение в электричество. Монокристаллический кремний имеет ФИК 18-20% и срок годности не менее 25 лет. Панели на основе поликристаллического кремния имеют ФИК 12-14%, в основном из-за их синего цвета и кристаллической структуры [2].

Для разработки математической модели солнечной панели использовалась современная компьютерная программа MATLAB Simulink. Учитывалась переменная среда (влияние окружающей среды, температура и световой поток) [3]. Разработанная математическая модель широко используется для определения оптимальной рабочей точки светового потока и температуры солнечной панели, получения выходных характеристик солнечной панели и нахождения ее мощности.

Библиографический список

1. **Соколов В.Ю. Вагнер А.А.** Принцип работы современных солнечных электростанций. Международный научный журнал. Научный Лидер № 15 (17) июнь, 2021. – С.179–181.
2. **Жураева З.И.** Обзорный анализ основных видов солнечных элементов и выявление путей повышения эффективности их работы и применения //Universum: Технические науки: электронный научный журнал 2018, № 10(55). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6460>.
3. **Д.Т.Юсупов, Ф.Т.Юсупова.** MATLAB дастури асосида куёш фотоэлектрик модулинг математик моделини ишлаб чиқиш. Фаргона политехника институти илмий-техник журналы, 2021.Т. 25. – №1, 219-223 бетлар.

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

КАЛИБРОВКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Одним из этапов создания цифрового двойника является его калибровка по реальному объекту.

Для этих целей был изготовлен стенд для испытания шаговых двигателей и получения графиков тока и импульсов напряжения на входе двигателя.

Стенд состоит из трансформатора ПКФЛ 685Вт-220В/48В, который снижает напряжение сети с 220В до 48В для подключения драйвера.

К драйверу DM860D подключаются контакты тестируемого двигателя с 86 фланцем, установленного на уголок из 6мм стали.

Драйвер подключается к плате EP-DPTR-M 2.01 которая связана с компьютером через контроллер EP7i92 кабелем Ethernet.

На ПК установлена система Craftex, построенная на Linux. Данная система предназначена для управления станками с ЧПУ, поэтому необходимо связать линейные перемещения, отображаемые в системе Craftex, с угловым положением двигателя.



Рис. 1. Испытательный стенд для шагового двигателя

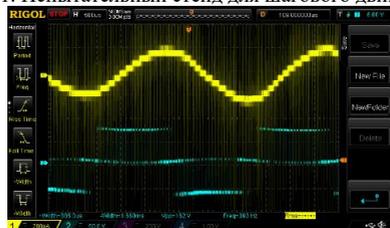


Рис. 2. Графики тока и импульсов

К сожалению, в такой системе полученные графики имеют многочисленные шумы. Это затрудняет прямой перенос данных в программу Excel.

На следующем этапе создания испытательного стенда необходимо добавить возможность считывания углового положения двигателя.

После составления всех графиков необходимо вручную перевести графики в таблицу Excel для дальнейшего использования.

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

МЕТОДИКА УТОЧНЕНИЯ ВЕЛИЧИН АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРА С УЧЕТОМ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ

Активное сопротивление обмоток, используемое в схемах замещения трансформатора, отличается от омического сопротивления ввиду влияния скин-эффекта при протекании переменного тока. Также необходимо учитывать сопротивление, соответствующее добавочным потерям в массивных ферромагнитных элементах конструкции.

Поэтому в общем случае справедлива формула

$$r = \rho \frac{\ell}{S} + \frac{P_d}{I^2}.$$

Расчет добавочных потерь представляет собой сложную задачу, решение которой основано на большом числе допущений (среднестатистические свойства материала, особенности распространения поля и т.п.) и в настоящее время производится очень упрощенно [1].

Для более точного расчета потерь в стенках бака предложена методика, основанная на решении двухмерной полевой задачи с представлением трансформатора в осесимметричной постановке с заданными граничными условиями Неймана по внутренней поверхности бака [2]. По результатам решения этой задачи определяется распределение индукции вдоль стенки бака, с использованием которого уточняются суммарные потери в баке с учетом эффекта вытеснения по формуле

$$P_6 \approx \gamma d_b L_b \int_{\ell_6} P(B(y_b)) dy \approx \gamma d_b L_b \sum_{i=1}^N P(B(y_{bi})) \Delta y_b.$$

Зависимость потерь в стенке бака от индукции возле стенки бака определяется по результатам рассмотрения упрощенной полевой задачи с эффектом вытеснения тока в массивном ферромагнитном элементе.

Библиографический список

1. **Тихомиров П.М.** Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
2. **Тихонов А.И., Стулов А.В., Снитько И.С., Подобный А.В.** Разработка 2D-моделей магнитного поля для реализации технологии цифровых двойников и порождающего проектирования силовых трансформаторов // Вестник ИГЭУ: Журнал.— Иваново: ООО "Прес-Сто", 2020. – №3. – С.32 – 43.

*Д.Ю. Вихарев, студ.;
рук. И.С. Снитко, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОСТИ ТОРОИДАЛЬНОЙ ОБМОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕКТОРНОГО ПОТЕНЦИАЛА МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Расчет индуктивности рассеяния обмоток трансформатора необходим для построения его точной математической модели. Также этот параметр важен и при рассмотрении моделей электромагнитного трансформатора тока, обмотка которого зачастую выполняется в виде тороида с прямоугольным сечением. Значение индуктивности рассеяния такого трансформатора необходимо для анализа явления насыщения магнитопровода измерительного трансформатора тока, часто встречающегося при коротких замыканиях [1].

Расчет индуктивности рассеяния тесно связан с расчетом собственной индуктивности обмотки без магнитопровода. Если тороидальная обмотка является равномерной и имеет такое большое число витков, что магнитное поле внутри тороида представляет концентрические окружности, то индуктивность рассеяния описывается выражением, которое представлено в [2]. Как правило, электромагнитные трансформаторы тока имеют небольшое число витков вторичной обмотки, поэтому аналитическое выражение, представленное в [2], не подходит под вышеописанные условия и не может точно описать собственную индуктивность тороида.

Учесть неравномерность намотки обмотки и малое количество витков позволяет применение векторного потенциала магнитного поля для расчета собственной индуктивности. Общее выражение для индуктивности в таком случае имеет вид:

$$L = \frac{1}{I} \sum_{n=1}^N \left(\sum_{m=1}^N \oint_{l_n} \overline{A}_m \cdot \overline{\partial l} \right),$$

где I – ток, протекающий по обмотке; N – число витков; \overline{A}_m – векторный потенциал магнитного поля; l_n – контур витка обмотки.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 58669-2019. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях.
2. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справ. кн. – Л.: Энергоатомиздат. 1986. – 488 с.

*Д.А. Суслов, студ.;
рук. И.Ю. Долгих, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В настоящее время поверхностная закалка является одной из основных областей применения индукционного нагрева [1], что обусловлено возможностью концентрации значительных по величине удельных мощностей в требуемой области обрабатываемой детали. Это позволяет осуществлять быстрый нагрев изделий на заданную глубину, что при последующем форсированном охлаждении обеспечивает получение твёрдого поверхностного слоя при сохранении пластичной сердцевины. Обработанные таким образом детали (валы, шестерни) отличаются повышенным сопротивлением к истиранию и способностью выдерживать ударные нагрузки.

При проектировании индукционной установки для поверхностной закалки важным вопросом является расчёт индуктора, конструктивные параметры которого во многом определяют распределение теплового поля в заготовке. В то же время важной особенностью является зависимость технологических и энергетических показателей процесса нагрева от температуры изделия, что делает необходимым совместное решение электромагнитной и тепловой задач. В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с численным моделированием электротепловых процессов индукционного нагрева цилиндрической стальной заготовки. В основе модели лежат уравнение электромагнитного поля и дифференциальное уравнение теплопроводности. Посредством их совместного решения определяются распределение плотности тока, тепловыделения и температурного поля в индукторе и заготовке. Полученные данные также могут быть использованы для расчёта энергетических параметров (комплекс полной мощности индукционной установки, коэффициент мощности и электрический КПД), которые необходимо принимать во внимание при выборе конструкции индуктора и режима работы установки для обеспечения требуемых характеристик исследуемого процесса.

Библиографический список

1. **Слухоцкий, А.Е.** Установки индукционного нагрева: учеб. пособ. для вузов / А.Е. Слухоцкий [и др.]; // Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.

А.И. Емишанов, А.С. Махлычев, студ.;
рук. И.Ю. Долгих, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПРИ СКВОЗНОМ НАГРЕВЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТИТАНОВЫХ ЗАГОТОВОК

В настоящее время индукционный метод нагрева является прогрессивным электротехнологическим процессом, широко используемым при сварке, различных видах термической и термохимической обработки, а также выплавке чёрных и цветных металлов. В то же время важной областью применения индукционных установок остаётся сквозной нагрев, применяющийся в кузнечных цехах перед обработкой металлических заготовок давлением. С этой целью создаются электротехнические комплексы, включающие в себя помимо самого индукционного нагревателя устройства подачи и перемещения деталей в рабочей зоне установки, а также систему управления, обеспечивающую заданный режим работы оборудования.

В докладе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой модели и исследованием электротепловых процессов сквозного индукционного нагрева цилиндрической заготовки из титана. Отличительной особенностью данного материала являются малые значения теплопроводности, что обуславливает низкую эффективность передачи тепловой энергии во внутренние слои заготовки и, в конечном итоге, сложность обеспечения равномерности нагрева по всему её сечению за приемлемое время.

Исследования проводились на численной модели, реализованной в соответствии с принципами, изложенными в [1]. В её основе лежит совместное решение уравнения электромагнитного поля в квазистационарном приближении через азимутальную составляющую векторного магнитного потенциала и дифференциального уравнения теплопроводности, характеризующего распределение теплового поля в пространстве и во времени. Полученные результаты показали целесообразность применения системы автоматического управления, обеспечивающей регулирование подводимой к заготовке мощности и, как следствие, высокую скорость нагрева при минимальном перепаде температур в сечении заготовки.

Библиографический список

1. Долгих, И.Ю. Разработка модели для оптимизации параметров индукционно-стыковой сварки стальных изделий плоским индуктором / И.Ю. Долгих, Л.Б. Корюкин // Вестник Иван. гос. энергет. ун-та (Вестник ИГЭУ). – 2018. – Вып. 4. – С. 61-69.

СЕКЦИЯ 17

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

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

Н.Н. Смокталь, асп.;
рук. В.М. Завьялов, д.т.н., проф.
(СевГУ, г. Севастополь)

ЭВОЛЮЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Традиционно в электроэнергетических системах на напряжениях 6-750 кВ для обеспечения электрических станций и подстанций информацией о токах и напряжениях таких систем, как РЗиА, АСКУЭ, а также нужд диспетчеризации применяются трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН). Одной из главных проблем, требующих решения в системах измерения, является обеспечение изоляции между первичной и вторичной цепями.

Недостатками применяемых промышленностью ТТ являются насыщение магнитопровода и, как следствие, неспособность обеспечить системы РЗиА достоверной информацией о первичных токах при переходном процессе короткого замыкания. Также к недостаткам можно отнести большие габариты, вызванные необходимостью обеспечения высоковольтной изоляции [1].

На сегодняшний день возникли новые подходы к построению измерительных устройств (ИУ). Традиционные ТТ постепенно заменяются на катушки Роговского и оптические ТТ. Заменой ТН являются емкостные и оптические ТН. Данные решения также не лишены недостатков [2].

Перспективным решением является бесконтактный способ измерения напряжения, основанный на расчете потенциала измеряемой линии исходя из измеренных значений электрического поля бесконтактным способом. Примером таких ИУ являются D-dot датчики электрического поля [3]. Ещё одним направлением совершенствования ИУ является оснащение их цифровыми каналами связи с поддержанием протоколов передачи информации в соответствии с МЭК 61850-9-2.

На текущий момент совершенствование ИУ ведётся в области поиска новых решений для первичных измерительных цепей.

Библиографический список

1. **Гречухин В.Н.** Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110-750 кВ станций и подстанций энергосистем: «Вестник ИГЭУ», Вып. 4, 2006.
2. **Mihailovic P., Petricevic S.** Fiber Optic Sensors Based on the Faraday Effect: Sensors 21, 6564, 2021.
3. **Wetula, A.; Bien, A.; Parekh, M.** New Sensor for Medium and High-Voltage Measurement: Energies, 14, 4654, 2021.

*Д.С. Кульбедин; А.В. Худoley; Д.Е. Смаилов;
рук. А.Р. Хажидинова,
(НАО ун-т им. Шакарима, г. Семей)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РК

Актуальность рассматриваемой проблемы в Республике Казахстан, как и во всем мире, обусловлена необходимостью более рационального и экономного использования топливно – энергетических ресурсов и снижения воздействия загрязняющих веществ, образующихся при горении топлива на окружающую среду [1]. Казахстан ставит перед собой амбициозные задачи по увеличению доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистеме страны. Планируется, что к концу 2025 года оно составит 6%, а к 2030-у – 10% [2]. Необходимость поддержки ВИЭ прописана как в государственных документах, таких как Концепция по переходу к «зелёной» экономике, так и в международных инициативах Казахстана, например, программе партнёрства «Зелёный мост». В ней упор сделан на обмен технологиями и опытом в сфере «чистой» энергетики [3].

Научная новизна работы заключается в разработке и составлении SWOT-анализа существующих и планируемых нетрадиционных источников энергии в Республике Казахстан. Авторами работы определены сильные и слабые стороны развития ВИЭ, потенциальные угрозы и перспективы развития энергетики в нашей стране.

Полученные результаты могут быть использованы при изучении дисциплины «Введение в специальность» студентов 1 курса энергетических специальностей. В дальнейшем, по теме работы планируется участие в конкурсе START – UP проектов университета Шакарима, направленного на поддержку развития и коммерциализации студенческих проектов.

Библиографический список

1. <https://informburo.kz/stati/kak-v-kazahstane-razvivaetsya-zelyonaya-energetika.html>
2. <https://ekonomist.kz/kombarov/vozobnovlyaemye-istochniki-energii/>
3. <https://www.proektant.kz/content/528.html>

*А.И. Разакова, студ., Р. И. Разакова, асп.;
рук. А.А.Филимонова, к.м.н.
(КГЭУ, г. Казань)*

ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ

В связи с высокой актуальностью темы создания водородных заправочных станций (ВЗС), проведен обзор имеющихся технологий получения очистки водорода до степени 99,999%, хранения, компрессии и автоматизации работы комплекса оборудования.

Компрессоры являются одним из ключевых элементов водородной инфраструктуры. Их основная задача закачка водорода под высоким давлением в разные типы хранилищ (металлические и композитные баллоны, контейнеры и т.д.), либо перекачка водорода из одной емкости в другую. Сжатие водорода осуществляется с помощью механических (поршневой, мембранный) и немеханических (электрохимический, металлгидридный) компрессоров. Водород является пожароопасным текучим газом, поэтому основные узлы компрессора должны иметь взрывозащищенную конструкцию и повышенную герметичность. Механические компрессоры являются традиционными и наиболее востребованными устройствами для компримирования водорода.

Электролизеры - щелочные, с протонообменной мембраной (PEM) и твердооксидные электролизеры являются основными коммерчески доступными технологиями сегодня на рынке. Щелочные электролизерные элементы (АЕС) используются в промышленных целях с 1920-х годов и могут считаться наиболее зрелой электролизерной технологией. Щелочной раствор гидроксида натрия (NaOH) или гидроксида калия (KOH) в воде используется в качестве электролита, в то время как электроды в большинстве случаев изготавливаются из стали, покрытой никелевым покрытием. АЕС является зрелой технологией, и эти типы электролизеров работают даже десятилетиями. Щелочные электролизеры с киловаттной шкалой были интегрированы для получения мегаваттной мощности, что позволило рассматривать их в качестве основного варианта для производства больших количеств водорода.

В настоящий момент в водородных заправочных станциях, в основном, применяются мембранные или поршневые компрессоры, однако их стоимость составляет половину от стоимости всей заправочной станции. Кроме того, они имеют низкую надежность при работе на больших давлениях и высокую стоимость технического обслуживания.

А.Е. Петров, асс.;
рук. В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СОЗДАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ RTDS И УСИЛИТЕЛЕЙ PONOVO НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО ПОЛИГОНА ИГЭУ

Современные тенденции развития лабораторий по испытанию силового и измерительного оборудования электроэнергетического сектора задают четкий вектор развития научных объединений и коллективов. В рамках развития Цифрового полигона в ИГЭУ одной из приоритетных задач является организация связи вычислительного комплекса RTDS с усилителями PONOVO. Наиболее сложным этапом является интеграцию обратной связи по каналам телеизмерений.

В рамках разработанной схемы и в соответствии с планом мероприятий, направленных на развитие платформы выполнены интеграция 4Q усилителя с ПАК RTDS на программном и физическом уровнях. Идет проработка и внедрение силового и метрологического оборудования.

В целях согласования уровней напряжения разработаны и изготовлены широкополосные силовые трансформаторы и промежуточные повышающие трансформаторы тока, осуществляющие гальваническую развязку высоковольтного оборудования и модулей усилителей PAV5000 и PAC60Si.

Использование киберфизического моделирования на основе полученных результатов по испытаниям усилителей мощности открывает перспективы проверки существующих и разработки новых алгоритмов релейной защиты и автоматики в условиях максимально приближенных к реальным [1, 2].

Библиографический список

1. **Исследование функций и устройств релейной защиты и автоматики с помощью комплекса RTDS** / Петров А.Е., Лебедев В.Д., Филатова Г.А., / Энергия-2020. Материалы конфер. Иван. гос. энергет. ун-тет им. В.И. Ленина, 2020. – С. 61.

2. **Цифровой полигон ИГЭУ** / Лебедев В.Д., Петров А.Е., Иванов Ф.А., Jennifer(Xinru) Liu, Gregory Jackson / Современные тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики. Материалы н.-техн. конф. молодых спец.в рамках форума «РЕЛАВЭКСПО-2021». – Чебоксары, 2021. – С. 213-217.

*А.В. Тумаков, студ.;
рук. М. С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

До конца прошлого века в построении систем управления электроприводов доминировал традиционный подход с использованием классических законов управления, но развитие силовой электроники и вычислительной техники в последние десятилетия позволило создавать современные электропривода, в которых все чаще стали использоваться интеллектуальные системы управления, способные к «пониманию» и обучению. Так, например, алгоритмы управления на основе методов нечеткой логики могут быть использованы для решения проблем, где применение традиционных методов управления затруднено или неэффективно. Именно поэтому изучение и использование программных средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности [1].

В работе рассмотрен алгоритм управления электромеханическим устройством на базе нечеткой логики с помощью микроконтроллера *TMS320F28335*. Для реализации данного алгоритма была использована среда имитационного моделирования *MATLAB/Simulink* с использованием пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox*, инструмента *Embedded Target Simulink Matlab*, а также интегральная среда проектирования *CCStudio* [1,2].

В работе большое внимание уделено соблюдению базовых условий для получения конечного файла прошивки микроконтроллера. Так же выполнена проверка точного воспроизведения алгоритмов моделируемой системы в микроконтроллере.

В результате, получен проект программного кода, компиляция которого в среде *CCStudio*, привела к созданию конечного файла прошивки микроконтроллера *TMS320F28335*, ориентированного на отладку математического алгоритма управления объектом [2]. Это позволяет рекомендовать результаты работы к использованию при исследовании алгоритмов системы в микроконтроллере и рекомендации по их применению в микропроцессоре системах управления промышленными электромехатронными модулями, а также внедрению в учебный процесс.

Библиографический список

1. **Леоненков А.В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Александр Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 719 с. ISBN 5941570872.
2. **Гнездов Н.Е.** Микропроцессорное моделирование электромехатронных систем: учеб.-метод. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский гос. энергет. ун-т им. В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 76 с.

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

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время в мире наблюдается тренд к использованию возобновляемых источников энергии взамен традиционным станциям, работающим на ископаемых видах топлива.

Одним из источников ВИЭ является солнечная энергия. Это полезная энергия, которая генерируется солнцем в форме электрической или тепловой энергии. Она может улавливаться различными способами, наиболее распространенным из которых является использование фотоэлектрических солнечных панелей, которые преобразуют солнечное излучение в полезное электричество.

В докладе представлена разработка объекта микрогенерации на базе ИГЭУ. С 27 декабря 2019 года на розничном рынке электрической энергии появился новый субъект, а точнее производная субъекта розничного рынка электроэнергии – это микрогенерация.

Микрогенерация – это объект по производству электрической энергии, принадлежащий потребителю (частному лицу или организации), который технологически присоединен к сетям на уровне напряжения не более 1 кВ с максимальной мощностью не более 15 кВт.

В докладе была оценена эффективность объекта микрогенерации на солнечной энергии. Именно этот вид энергии является наиболее подходящим для климатических и природных условий в Ивановской области. В докладе приведены оценка климатических условий места строительства, выбрано необходимое оборудование, произведен годовой расчёт выработки электроэнергии по месяцам, определены капиталовложения на реализацию проекта и рассчитаны основные экономические показатели проекта. Проведён анализ и оценка полученных результатов, а также вывод о целесообразности такой установки в Ивановской области.

У микрогенерации в России есть существенный потенциал развития. Она даст толчок развитию индивидуального жилищного строительства, особенно на территориях Дальнего Востока, других изолированных территориях. Но развитие микрогенерации, как и любой другой отрасли, зависит от экономической целесообразности - насколько выгодно вкладывать в такие проекты свои средства.

СЕКЦИЯ 18

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

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

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

*Д.Д. Баркалов, студ.;
рук А. Лхамдондог, к.т.н.
(«НИУ МЭИ», г. Москва)*

ПУСК И САМОЗАПУСК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ

Устойчивая выработка электрической и тепловой энергий для потребителей требует надежной работы систем собственных нужд (СН), обеспечивающих стабильную работу теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Потребителями СН на ТЭЦ являются различные насосы, подогревательные установки, вентиляторы, охладители и т.д. Для привода рабочих механизмов используются асинхронные двигатели (АД) [1].

При возникновении внештатных и аварийных ситуаций необходимо локализовать аварию и осуществить самозапуск и разворот агрегатов после подачи питания. Пуск блоков и разворот агрегатов с нуля требует достаточно мощные источники резервного питания. При этом самозапуск двигателей после отключения питания требует ступенчатый пуск в зависимости от степени ответственности механизмов, и в зависимости от уровня напряжения может быть осуществлен от резервного трансформатора СН или реактора СН с аналогичными характеристиками.

Для проведения данного исследования необходимо провести расчеты по пуску и успешному самозапуску АД СН ТЭЦ. Расчеты планируются провести в программном обеспечении EMTP-RV [2], оптимизированном для расчетов переходных процессов и решения задач в области электроэнергетики.

Результаты расчетов позволят определить способность выбранного реактора СН осуществить пуск или самозапуск АД, или же покажут необходимость в установке более мощного резервного трансформатора СН, что приведет к изменению схемы питания СН и увеличению затрат на дополнительное оборудование.

Библиографический список

1. **Георгиади В.Х.** Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения собственных нужд (часть 1). – М.: НТФ “Энергопрогресс”, 2003. – 80 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу “Энергетик”; Вып. 4(52)].
2. **Electromagnetic transients program (EMTP).** Theory book.

*М.А. Гатауллин, студ.;
рук. Е.А. Миронова, к.пед.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОДСТАНЦИИ 110 КВ «ВОЛНА» ПРИВОЛЖСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В филиале АО «Сетевая компания» Приволжские электрические сети эксплуатируется ПС 110 кВ Волна, 1985 года строительства, территориально расположенная в Республике Татарстан г. Зеленодольск.

Данная подстанция находится в динамично развивающемся районе с повышающимися требованиями надежности и качеству электроснабжения. ПС 110 кВ Волна является проходной подстанцией, обеспечивающее электроснабжение социально значимых потребителей. Оборудование ПС 110 кВ Волна имеет значительный физический износ, при строительстве подстанции в 80-х годах в связи со сложной экономической ситуацией частично было использовано оборудование бывшее в употреблении и находящееся на хранении, а именно разъединители 110 кВ, ж/б фундаменты под оборудованием. В эксплуатации находятся масляные выключатели 110 кВ типа МКП-110 с граничными эксплуатационными значениями и отсутствием запасных частей.

Автоматизированное рабочее место

На основе проектов подстанций новых поколений было реализована модернизация подстанции 110 кВ Волна. На ней не просто заменили оборудование на новейшие российские образцы, но и реализовали дистанционное управление. Причем не только оборудованием, но и устройствами РЗА. На ПС 110 кВ Волна сейчас переключения традиционным способом проходят так — диспетчер отдает команду на проведение операции, персонал на объекте ее полностью повторяет и выполняет, после чего докладывает диспетчеру, и уже последний посылает команду на выполнение команды. Это длительный, но обязательный процесс.



Например, для ЛЭП это занимает минут 40 – 1 час (может, и больше). При этом персонал может выполнять переключения на оборудовании, находящемся под напряжением, что создает опасность поражения электрическим током как при повреждении оборудования, так и при ошибках самих работников.

1 – ПК АРМ ДЭМ ПС, 2 – Оперативный журнал ПК АРМ ДЭМ ПС, 3 – Рабочий ПК ДЭМ ПС, 4 – Технологическое и охрannое видеонаблюдение.

Чтобы в разы сократить время выполнения переключений и максимально обезопасить персонал при выводе в ремонт и вводе в работу оборудования, применяется дистанционное управление. Время переключений по ЛЭП сокращается до 2,5 минуты, то есть минимум в 10 раз! А говоря о безопасности персонала, дистанционное управление полностью исключает человеческий фактор.

Библиографический список

1. **Стандарт** организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-75 кВ (НТП ПС).

Д.А. Давыдов, студ.;
рук. Е.А. Миронова, к.п.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Низковольтное комплектное устройство (НКУ) – представляет собой набор коммутационных аппаратов вместе с органами управления, защиты. НКУ выпускаются на напряжение до 1000 В (220 В, 380 В, 690 В). НКУ применяются на электростанциях; в судостроении; на нефтебуровых платформах; в электроустановках энергосистем промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства.

В современном мире требования к качеству и надежности распределения и передачи электроэнергии у конечных пользователей все выше и выше, поэтому для уменьшения рисков необходимо повышать надежность НКУ.

Необходима разработка комплекса мероприятий, направленных на поддержание и повышение надежности НКУ на всех стадиях жизненного цикла.

Основными этапами при разработке мероприятий:

- оценка соответствия разработанного проекта устройства действующей нормативной документации;
- оценка соответствия разработанной технической документации требованиям технического задания;
- оценка соответствия сборки и монтажа комплектующих НКУ требованиям технологической документации;
- выявление неисправностей при эксплуатации НКУ;
- разработка мероприятий по технической помощи при обслуживании НКУ;
- выявление проблем утилизации или переработки в конце жизненного цикла НКУ;

Наиболее важными мероприятиями по оценке качества являются:

- анализ всех этапов создания НКУ;
- обзор различных типов и конструкций НКУ;
- анализ методов НКУ при проверке сотрудниками ОТК;
- сравнение устройств отечественного и зарубежного производства;
- анализ качества и надежности на основе отзывов эксплуатации НКУ.

Внедрение в практику вышеперечисленных мероприятий позволит обеспечить эксплуатационную надежность НКУ.

Библиографический список

1. **Руководство** по проектированию НКУ SIVACON S8: Siemens 2008г.

*Д.М. Едокимов, Я.Н. Белов, А.А. Кринкин, студ.;
рук. В.Ю. Вуколов, к.т.н., доц.
(ДПИ НГТУ, г. Дзержинск)*

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ НА ПРИМЕРЕ ТИПОВОЙ ПОДСТАНЦИИ 110/35/10 КВ

Развитие технологии «Цифровая подстанция» (ЦПС) – одно из ключевых направлений концепции "Цифровая трансформация 2030". Современная ЦПС базируется на стандарте МЭК 61850, которым определяются требования к формату приёма/передачи данных для интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ). В общем случае, система связи ЦПС состоит из передатчика, приемника и канала коммуникаций. Тип среды передачи информации и сетевые топологии предоставляют различные возможности по скорости, безопасности, надёжности и чувствительности организации релейной защиты и систем технологического управления. В качестве канала передачи данных, на основе анализа возможных вариантов, принято решение использовать сеть с коммутацией пакетов Ethernet с выделением коммуникационной сети, обеспечивающей обмен данными между измерительными устройствами и устройствами уровня присоединения – «шина процесса». Применяемая топология локальной сети – «точка-точка». Взаимодействие между различными ИЭУ и клиентами достигается за счет «шины подстанции».

Применение технологии ЦПС на типовой подстанции 110/35/10 кВ позволит добиться унификации информационных протоколов обмена данными, реализации функции удаленного доступа и дистанционного управления, увеличения стабильности функционирования и безопасности. Для успешной реализации проекта внедрения ЦПС необходима разработка общей концепции построения программно-аппаратного комплекса цифровой подстанции, организация цифровых вторичных цепей при использовании как традиционных, так и цифровых трансформаторов тока и напряжения, а также появление дополнительных возможностей для контроля и диагностики оборудования, каналов сбора/передачи информации и управления.

Дополнительные затраты на внедрение технологии будут компенсированы за счет не обслуживаемости модульных самодиагностируемых подстанций, проведения их модернизации на основании обновления программного обеспечения без замены оборудования, снижения количества кабелей вторичных цепей за счет замены медных кабелей на оптоволоконные.

*К.Ю. Макаров, Д.К. Щербинин, студ.;
рук. А. Лхамдондог, к.т.н.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ НА УРОВЕНЬ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЭЦ

В настоящее время одним из основным источников электрической и тепловой энергий в крупных городах являются теплофикационные электростанции или ТЭЦ [1].

Постоянный рост нагрузки и генерирующих мощностей, износ отдельных электроустановок требуют проведения реконструкции действующих станций, а также строительства новых. Вышеперечисленные проблемы приводят к значительному росту токов короткого замыкания (КЗ), тем самым снижая надежность устойчивой работы токоограничивающих реакторов (ТОР) на ТЭЦ. Как следствие, требуется замена данного электрооборудования.

При замене ТОР необходимо уменьшить электродинамическое и термическое воздействия токов КЗ на электрооборудование распределительного устройства и обеспечить безопасность рабочего персонала.

Задачей исследования является определение допустимых значений напряженностей электромагнитных полей при различных режимах работы электроустановки, как нормальном, так и при возникновении коротких замыканий. Для решения поставленной задачи и получения картины распределения полей, расчеты будут проведены в программном комплексе Elcut [2]. Конечным результатом исследования будут рекомендации по установке нового ТОР с указанием его характеристик, безопасного расстояния до шинных конструкций, а также допустимые значения напряженностей полей для рабочего персонала [3].

Библиографический список

1. **Горюшин Ю.А., Тихонов Ю.А., Шакарян Ю.Г.** Проблема токов короткого замыкания в Московской энергосистеме и пути ее решения // Энергия единой сети. – №1. 2013. №6. – С. 50-55.
2. **Elcut** Версия 6.6: Руководство пользователя. – С.-П.: ООО «Тор», 2021.
3. **Гигиенические** нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов обитания. СанПиН 1.2.3685-21. – М.: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ, 2021.

Р.Р. Мингалиев, студ.;
рук. Е.А. Миронова, к.пед.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОДСТАНЦИИ «МАКАРОВКА 110/35/6 КВ» ПРИВОЛЖСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Филиал ОАО «Сетевая компания» - "Приволжские электрические сети" ведет реконструкцию подстанции «Макаровка» 35/10 кВ расположенной в Высокогорско районе Республики Татарстан, сообщила пресс-служба "ТатЭнерго". В результате технического перевооружения ПС будет переведена на уровень напряжения 110 кВ и существенно увеличится ее мощность. Благодаря этому будет значительно повышена надежность электроснабжения потребителей Высокогорского района и поселков Кадышево, Щербаковка, Сухая река Авиастроительного района города Казани, ощутимо возрастет возможность технологических присоединений новых потребителей. Инвестиции Компании в реконструкцию энергообъекта превысят 260 млн. рублей.

Мероприятия по реконструкциям подстанций.

- изменена схема ОРУ 110 кВ – демонтированы отделители и короткозамыкатели, предложена схема с применением элегазовых выключателей ВЭБ-УЭТМ-110 и разъединители РПД-УЭТМ-110;



ВЭБ-УЭТМ-110



РПД-УЭТМ-110

- заменены масляные выключатели 35 кВ марки С-35М-630-10У1 на элегазовые выключатели марки ВЭБ-УЭТМ-35;

- заменены разрядники РВС-110, 35 кВ на ОПН-110, 35 кВ;



35М-630-10У1 на ВЭБ-УЭТМ РВС-110 на ОПН-110

Достоинства: высокая надежность; высокая пожаро- и взрывобезопасность; высокая дугогасящая способность; высокая электрическая прочность; высокие диэлектрические характеристики высокая теплопроводность.

Недостатки: высокая стоимость; высокие требования к элегазу

Библиографический список

1. **Стандарт** организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС).

В. А. Остроушко, В.Д. Битней, А.А. Булавина студ.;
рук. Н.Н.Смотров, к.т.н.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК ГЭС ПРИ РАБОТЕ В РЕЖИМЕ ПС

В связи со специфическим режимом работы гидроэлектростанций (ГЭС), большую часть времени гидроагрегаты находятся в простое, при этом необходимость питания прямых потребителей, а также её расположение и конфигурация РУ приводят к функционированию в качестве подстанции (ПС). Данное явление наблюдается на Краснополянской, Майкопской и Белореченской ГЭС из-за недостаточной полноводности рек, что влечет за собой значительные затраты для станций.

Целью исследования являлся анализ экономических издержек ГЭС вследствие их использования в качестве ПС сторонними компаниями.

На протяжении времени работы станции в режиме распределения и передачи мощности без собственной генерации, она несет значительные экономические издержки, которые складываются из потерь в ТР, износа силового оборудования и затрат на собственные нужды (охлаждение трансформаторов, питание устройств РЗА и средств связи), компенсируемые ГЭС. Во многих силовых ТР используется специальное масло в качестве изоляции, которое со временем теряет свои свойства, что влечет за собой его замену, либо восстановление изначальных свойств специальным оборудованием, а, следовательно, и дополнительные расходы. При этом до 2019 года не существовало законных оснований на требование подобного вида компенсаций для гидрогенерирующих компаний.

Согласно изданному дополнению № 1857 от 26.12.2019 [1] к постановлению Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 N 861, компании получили возможность требования компенсации затрат электрической мощности на собственные нужды. Для востребования полной компенсации экономических издержек с сетевых компаний из-за использования ГЭС в качестве ПС во время простоя гидроагрегатов был проведен анализ, включающий в себя расчёт износа силового оборудования и потерь при передаче электроэнергии, на основании чего предлагается внести соответствующие дополнения в постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861.

Библиографический список

1. **Постановление** Правительства РФ от 26.12.2019 N 1857 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам компенсации расходов на приобретение электрической энергии (мощности).» – Текст: эл.// Официальный интернет-портал правовой информации: [сайт]. – 2021. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912270055?index=0> (дата обращения: 04.11.2021).

*Г.Х. Хамидулина;
рук. Е.А. Миронова к.п.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

РАСШИРЕНИЕ ЗАИНСКОЙ ГРЭС С УСТАНОВКОЙ ПГУ ОБЩЕЙ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ 850 МВт

Крупнейшая электрическая станция Республики Татарстан – Заинская ГРЭС. Является важнейшим участником оптового рынка электроэнергии и мощности, также полностью обеспечивает теплом г. Заинск.

С введением в строй Заинской ГРЭС – одной из крупнейших тепловых электростанций с 12 конденсационными блоками по 200 МВт – энергосистема Татарстана из дефицитной стала избыточной по мощности. Это одна из ключевых станций объединенной энергетической системы Средней Волги. Пуск первого блока состоялся в 1963 году, строительство завершено в 1972 году. Заинская ГРЭС выдает электроэнергию в единую энергосистему на три уровня напряжения: 110, 220 и 500кВ.

Состояние Заинской ГРЭС определяет уровень энергетической безопасности Республики Татарстан. Учитывая срок эксплуатации, оборудование на станции физически и морально устарело.

Установка энергетического блока ПГУ на Заинской ГРЭС, учитывая имеющуюся в наличии развитую сетевую инфраструктуру, позволит:

- существенно улучшить технико-экономические показатели, снизить себестоимость электроэнергии, вырабатываемой станцией, за счет высокого КПД (64,7%), тем самым стать конкурентоспособной на оптовом рынке э/э и мощности;

- поднять надежность энергоснабжения, за счет снижения отказов электрооборудования, применения новых технологий и автоматизации ЭТО, поднять маневренность работы станции.

Установка ПГУ была невозможна на территории действующей станции, что повлекло за собой необходимость расположения ПГУ вблизи станции для чего были приобретены соседние территории.

Библиографический список

1. **Генеральная** схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года от 09.06.2017г. №1209-р.

А. Д Юдин, студ.;
рук. Е. А. Миронова, к.п.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ОТРАБОТАВШИХ НОРМАТИВНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ

Силовые маслonaполненные трансформаторы во многом определяют надежность электроснабжения потребителей, поэтому проблема поддержания технического состояния трансформаторов и продления срока их службы стоит достаточно остро.

Современное состояние трансформаторного парка характеризуется физическим износом: более 60 % трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ отработали нормативный срок службы (25 лет). Однако опыт эксплуатации показывает, что после отработки нормативного срока службы значительная часть маслonaполненных трансформаторов остается в рабочем состоянии [1].

Часто изоляция обмоток работает в сложных условиях, что ухудшает ее свойства. Трансформаторное масло в этой системе – ведущий диэлектрик, контактирующий с внешней средой, взаимодействующий с твердой изоляцией и токопроводом и несущий большой объем диагностической информации.

Мониторинг состояния масла в силовых трансформаторах во время работы осуществляется с точки зрения параметров, которые не позволяют выявить начальные периоды ухудшения его свойств [2].

Проведение анализа трансформаторного масла, повысит надежность и долговечность трансформаторов, которые выполнили нормативный срок службы. Поэтому актуальной задачей является изучение особенностей диагностики масляных трансформаторов 10/0,4 кВ, эксплуатируемых в рамках потребителей.

Библиографический список

1. **Алексеев, Б. А.** Обследование состояния силовых трансформаторов / А. Алексеев // Электрические станции, 2003. – № 5. – С. 74 – 78.
2. **Голоднов, Ю. М.** Контроль за состоянием трансформаторов / Ю. М. Голоднов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 88 с.

*Д.А. Ладин, маг.; Н.С. Барышников, студ.,
А.С. Страхов;
рук. Д.А. Полкошиников,
А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКИ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРИ ВЫБЕГЕ

Из литературных источников [1] известно, что при выбеге асинхронного двигателя (АД) токи в обмотке ротора (ОР) во внутреннем магнитном поле (МП) существуют некоторое время. При этом затухание токов в высоковольтных двигателях происходит на порядок дольше, чем в низковольтных, что позволяет производить диагностику состояния узлов таких машин. Однако возникает вопрос, имеет ли внешнее МП диагностические признаки при поврежденной ОР?

Целью данной работы является анализ влияния повреждений короткозамкнутой ОР на величину амплитуд гармоник от фиктивной ОР электродвигателя во внешнем МП при выбеге.

В ходе работы произведены расчеты внешних и внутренних магнитных полей высоковольтных АД (ДАЗО, 4АЗМ) с исправной и поврежденной ОР в программном комплексе Ansys Maxwell. Далее в программном комплексе Mathcad обработаны частотно-временные и амплитудные спектры внешнего магнитного поля указанных выше двигателей и выполнен анализ полученных спектров.

Анализ графиков показал, что амплитуды гармоник фиктивной ОР внешнего МП при исправной и поврежденной ОР отличаются в десять и более раз. Следовательно, внешнее МП в режиме выбега несет в себе диагностические признаки, позволяющие выявить повреждения короткозамкнутой ОР высоковольтных АД.

Библиографический список

1. Полкошиников Д.А., А.А. Скоробогатов А.А., Ладин Д.А., Барышников Н.С. Исследование влияния повреждения обмотки ротора электродвигателя собственных нужд электростанций на внутреннее магнитное поле при выбеге // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии, 2021 – С. 78-81.

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

О МОДЕЛИРОВАНИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

В последние годы одним из наиболее перспективных видов возобновляемых источников энергии является энергия солнца. Это связано с её экологичностью и общедоступностью. Основным способом преобразования энергии солнца является фотоэлектрический, основанный на использовании солнечных панелей. 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. Данная задача может быть решена на основании создания имитационных моделей фотоэлектрических элементов.

Целью работы является оценка влияния различных загрязнений на выработку полезной мощности солнечными панелями. Основными задачами является разработка модели фотоэлектрического элемента, отличающегося от существующих учётом различных загрязнений, а также исследования энергетических характеристик фотоэлементов с такими загрязнениями.

Для достижения поставленных целей и задач разрабатывается модель фотоэлектрического элемента в программном комплексе Matlab Simulink. Апробация модели будет произведена на солнечном элементе, который входит в состав лабораторного стенда, расположенного на кафедре электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования Ивановского государственного энергетического университета в аудитории В-110.

На текущий момент произведен обзор литературы по выбранному направлению исследований, произведены систематизация и анализ существующих математических моделей панелей на солнечных элементах, выбрана наиболее подходящая модель для дальнейших исследований. Изучены запатентованные решения в исследуемой области. В Matlab Simulink реализована модель идеальной солнечной панели. Расчеты на модели показали удовлетворительную сходимость полученных результатов с результатами других авторов.

Дальнейшим направлением научных исследований является изучение степени влияния загрязнённости фотоэлектрических панелей и поиске путей решения по увеличению эффективности работы солнечных панелей.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОКА СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Асинхронные двигатели (АД) составляют порядка 90% всех энергопотребителей механизмов собственных нужд электростанций. Для нормального функционирования технологического процесса важной задачей является как можно более раннее выявление нарушения работы АД. Одной из неисправностей короткозамкнутой обмотки ротора (ОР) АД является обрыв ее стержней. Без своевременного обнаружения это может привести к выходу из строя машины, длительному её ремонту и нарушению работы электростанции. Одним из способов выявления обрыва стержней является способ, основанный на анализе гармонического состава тока статора в режиме пуска [1]. Диагностическим признаком оборванных стержней является резкое увеличение амплитуд гармоник от, так называемой, фиктивной обмотки ротора (ФОР).

В последнее время большое распространение на электростанциях получили управляемые частотно-регулируемые электропривода. В гармоническом составе напряжения присутствует большой набор гармоник, которые могут исказить картину спектра тока статора и затруднить диагностику АД, работающего в составе частотного привода.

Для проверки адекватности метода было проведено экспериментальное исследование. Лабораторная установка состоит из АД с двумя роторами (исправным и с оборванным стержнем), преобразователя частоты и преобразователя аналоговых сигналов. В эксперименте исследовался режим пуска. Для частотного регулирования кроме величины напряжения отдельно задавалась скорость набора частоты.

Обработка полученных цифровых сигналов токов статора производилась в программном комплексе Matlab, с помощью которого были получены их частотно–временные спектры. Сравнение спектров показало, что для поврежденной ОР резко возрастают амплитуды гармоник ФОР. Анализ результатов позволяет сделать вывод о возможности применения методики, описанной в [1], для АД с частотным управлением.

Библиографический список

1. **Назарычев А.Н.** Метод контроля состояния обмоток роторов асинхронных электродвигателей при пуске по току статора / А.Н. Назарычев, Е.М. Новоселов, Д.А. Полкошников, А.С. Страхов, А.А. Скоробогатов // Дефектоскопия, 2020. – № 8. – С. 49–55.

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

НИЗКООМНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ, КАК НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОЕ В СЕТЯХ 6 КВ ПРИ НАЛИЧИИ ГРУПП ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) установлен режим эксплуатации электрических сетей напряжением 6 и 10 кВ с изолированной нейтралью или компенсированной нейтралью.

Наиболее распространенный вид повреждений в таких сетях – однофазные замыкания на землю с перемежающейся дугой. Возникающие при этом дуговые перенапряжения кратностью до 3 – 4 U_{ϕ} опасны для электрооборудования, в первую очередь для высоковольтных электродвигателей, генераторов, кабелей и трансформаторов напряжения.

Сети собственных нужд электростанций напряжением 6 и 10 кВ работают в основном с изолированной нейтралью. Релейная защита от однофазных замыканий на землю в таких сетях в ряде случаев не способна селективно отключить аварийное присоединение и выполняется с действием на сигнал. При этом вся сеть напряжением 6 и 10 кВ длительно находится под воздействием дуговых перенапряжений на время поиска повреждения.

В настоящее время в России происходит процесс отказа от изолированного режима заземления нейтрали, предлагаются новые комплектные устройства для высокоомного или низкоомного резистивного заземления нейтрали, позволяющие устранить недостатки сети с изолированной нейтралью. Применение резистивного заземления нейтрали позволяет избавиться от опасных перенапряжений и повышает быстродействие и селективность релейной защиты. Необходимость применения резистивного заземления нейтрали особенно остро стоит в питающих сетях 6 и 10 кВ с мощной двигательной нагрузкой.

Библиографический список

1. Костенко М.В., Богатенков И.М., Михайлов Ю.А., Халилов Ф.Х. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю, включениях и отключениях индуктивных элементов. – Итоги науки и техники / ВИНТИ. Т. 17. – 105 с. (Электрич. станции и сети).

*В.А. Иванов, студ.; Д.Ю. Брезгин, студ.;
рук. И.Н. Сулыненков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) с синхронными генераторами на постоянных магнитах широко применяются в современной ветроэнергетике. Ветроустановки с таким типом возбуждения конструктивно более простые и обеспечивают выработку электроэнергии в широком диапазоне изменения скорости ветра. Эффективность использования ВЭУ зависит от большого числа факторов, таких как скорость ветра, механические и электрические параметры самой ветроустановки, электрические параметры энергосистемы. Для исследования влияния различных факторов на работу установки была поставлена задача моделирования ВЭУ и режимов ее работы.

В докладе представлена математическая модель ВЭУ, разработанная в программном продукте MATLAB Simulink. При реализации модели был использован типовый блок генератора постоянного тока с набором дополнительных блоков, моделирующих его работу совместно с ветроколесом в составе ВЭУ и с энергосистемой. Предлагаемая модель была опробована на лабораторном образце ветроустановки. Исходные данные для модели, характеризующие механические и электрические параметры установки, были определены по физической модели. Произведена оценка адекватности математической модели. Расхождение при сравнении данных, полученных на математической и физической моделях, составило от 0,6 до 5% в зависимости от режима работы.

На втором этапе проведены исследования режимов работы ветроустановки. Получены рабочие характеристики и определены оптимальные настройки параметров ВЭУ в зависимости от набора входных параметров.

Предлагаемая модель ВЭУ может быть использована для установок иных размеров и мощности для моделирования режимов их работы, определения энергетических характеристик и разработки эксплуатационных технологических карт.

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

ВНЕДРЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКУ

Сегодня в электроэнергетической системе происходят радикальные изменения, электрические сети должны обеспечивать гибкое управление энергопотоками и компенсировать колебания подачи электроэнергии, а функционирование самой системы – быть абсолютно безопасным и надежным. В то же время нужно расширять существующие мощности, обновлять имеющееся оборудование и оптимизировать работу электросетей, чтобы вся инфраструктура соответствовала будущим потребностям. Все это невозможно без внедрения интеллектуальных электросетей.

В качестве мощного технического инструмента технология нейронной сети помогает принимать важные и неочевидные решения в неопределенных условиях, при нехватке времени и ограниченных информационных ресурсах.

Широкий спектр задач говорит о больших возможностях применения нейронных сетей, которые постоянно совершенствуются, и показывают очень точные результаты. Всё это позволит достичь высокого качества работы электроэнергетического сектора, получить положительный экономический эффект и по-новому организовать процесс принятия решения, во много раз улучшив его.

Библиографический список

1. *Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года.*
2. **Ахметзянов К.Р., Тур А.И., Кокоулин А.Н., Южаков А.А.** (2020). Оптимизация вычислений нейронной сети // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – № 36.
3. **Лисовский А.Л.** (2020). Применение нейросетевых технологий для разработки систем управления // Стратегические решения и риск-менеджмент. Т. 11. – № 4. – С. 378-389.

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

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Важнейшим фактором, определяющим устойчивое развития экономики, является надежное обеспечение потребителей электроэнергией. Актуальность проблемы эксплуатационной надежности витковой изоляции длительно работающих 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 лет.

Основными элементами силового трансформатора являются обмотки и сердечник. Техническое состояние обмотки является основным критерием общей оценки предельного состояния силовых трансформаторов. Наиболее уязвимым элементом обмоток является витковая изоляция, по существу определяющая срок службы трансформатора.

Для дальнейшего 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.

Библиографический список

1. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
2. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше. Электричество, 2010, – №2.

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

О РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Повышение надежности объектов энергетики было и остается важным вектором развития современной электроэнергетики. Расчет надежности схем электроустановок представляет собой актуальную задачу, решение которой позволит определять оптимальные проектные решения и снизить их стоимость.

Для применения более сложных и точных методов расчета надежности, а также для повышения скорости расчетов схем электроустановок используют различные программные комплексы отечественной и зарубежной разработки. Одними из наиболее известных зарубежных программ являются «Relex», «PSS SINCAL», однако, ввиду введения зарубежными партнерами санкций, в том числе в IT-сфере, применение зарубежного программного обеспечения не целесообразно.

Примерами отечественных разработок являются программные комплексы «АРБИТР» [1] и «АСОНИКА-К» [2], однако они имеют ряд однотипных недостатков. Работа с этими программными комплексами подразумевает наличие у пользователя определенных знаний в области расчетов надежности, а также практических умений и навыков использования расчетных методов, на котором основывается программный комплекс. Графический интерфейс в этих программных комплексах не позволяет вводить минимальный объем данных и получать на выходе требуемые результаты расчетов. Поэтому задача создания более продвинутых программ является важной.

В разрабатываемом программном комплексе предполагается устранить перечисленные выше недостатки, а именно: разработать простой графический интерфейс, позволяющий вводить только схему электроустановки; разработать методику автоматизированного расчета надежности; выполнить вывод результатов в простом формате, который будет понятен любому техническому специалисту.

Библиографический список

1. **ПК АРБИТР | СПИК СЗМА:** [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://szma.com/arbitr> (Дата обращения 06.03.2022)
2. **АСОНИКА-К | Асоника.** [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://asonika.ru/index-25.htm?q=27> (Дата обращения 07.03.2022).

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

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 110 КВ ПУТЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ В НЕЙТРАЛЬ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩЕГО РЕАКТОРА

Проектом исследования является анализ изменений величины тока однофазного замыкания на землю на шинах РУ 110 кВ электрической подстанции. Подстанции указанного напряжения работают в режиме эффективного заземления нейтрали трансформаторов через малое сопротивление заземляющего устройства, что приводит в большинстве случаев к значительному увеличению токов однофазного замыкания на землю, значения которых могут превышать значения токов трехфазного КЗ в той же расчетной точке.

Наиболее распространенным способом уменьшения значений тока однофазного КЗ является разземление нейтралей части трансформаторов, что приводит к увеличению эквивалентного сопротивления нулевой последовательности и, соответственно, токов однофазного КЗ.

В то же время, действующим нормативным документом [2] рекомендуется использование токоограничивающих реакторов, включаемых в нейтраль силовых трансформаторов.

Сравнение указанных способов заземления нейтралей в сетях 110 кВ имеет практический интерес.

Для решения поставленной задачи была создана модель понизительной подстанции 110/10 кВ с двумя трансформаторами и прилегающей к ней сети.

Для анализа были выбраны три режима заземления нейтралей трансформаторов:

- один трансформатор разземлен; нейтраль второго эффективно заземлена;
- один трансформатор разземлен; нейтраль второго заземлена через токоограничивающий реактор;
- нейтрали обоих трансформаторов заземлены через токоограничивающий реактор.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок. М.: ЭНАС, 2006.
2. **РД 34.20.176** Руководящие указания по ограничению токов однофазных коротких замыканий в электрических сетях 110 - 220 кВ энергосистем. Минэнерго СССР 10.12.84

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

Эффективность работы электроэнергетического объекта во многом определяется эффективностью работы системы собственных нужд. Оценка технического состояния агрегатов собственных нужд является важным звеном, влияющим на показатели работы объекта в целом. В процессе эксплуатации тщательный анализ состояния затруднен сложными манипуляциями с агрегатом (его останов, измерения, испытания), в большинстве случаев он требует значительного времени.

Существует достаточно систем и методов оценки технического состояния, которые внедрены для электротехнического оборудования.

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

Механические характеристики, полученные экспериментальным путем, отличаются большей точностью. На действующих электростанциях весьма желательно иметь набор механических характеристик, полученных экспериментально, для дальнейшего использования их при анализе условий пуска и самозапуска агрегатов СН. Сравнение данных характеристик выявляет возможное ухудшение технического состояния и помогает своевременно принять решение о проведении внепланового обслуживания или замене оборудования.

Результаты анализа методов оценки технического состояния могут быть использованы на реальных электроэнергетических объектах

Библиографический список

1. **Баженов И.А., Марьянова С.И.** Основы режимов работы агрегатов собственных нужд электрических станций. учеб.пособ. – Иваново, 2015. – С. 2 – 36.
2. **Калачева О.Н., Лапшин В.М.** Проектирование системы собственных нужд с учетом требований эксплуатации. МУ к самост. работе. – Иваново, 2010. – 64с.

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

АСИММЕТРИЧНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНО-ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА: АНАЛИЗ СХЕМЫ И ПОИСК ПРОБЛЕМ

Выпрямительно-зарядное устройство – установка, предназначенная для бесперебойного питания постоянным током батареи магнитного поля во время работы испытательной установки.

Выпрямительно-зарядное устройство батареи магнитного поля является трехфазным потребителем, при номинальном режиме работы не имеет асимметрии в цепи питания.

В ходе одной из работ испытательной установки была выявлена асимметрия: ток нагрузки одной из фаз отличался от номинального значения.

Совместно с сотрудниками научного института был выполнен комплекс мероприятий по выявлению и устранению причин аварийного режима, а именно, проведены дополнительные включения установки с целью исключения ошибок при измерении токов нагрузки по фазам с использованием различных измерительных приборов (применялись токоизмерительные клещи СЕМ DT-3363, M266F и АКТАКОМ АСМ-2311).

При диагностике элементов цепи «Распределительный щит – ВЗУ БМП» были обнаружены и заменены поврежденные диоды (измененный цвет покрытия и деформация корпуса) и шунтирующие сопротивления (значения сопротивлений кратно отличающиеся от номинальных) в выпрямительном блоке. Данные факты говорят о возможном выбросе сверхтоков, на которые данные элементы не рассчитаны. Также был заменен тиристорный регулятор напряжения по причине деградации тиристоров и большого срока эксплуатации (более 30 лет).

По результатам работы разработаны рекомендации по периодической диагностике блоков цепи питания.

Библиографический список

1. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения: учеб. – Новосибирск, 2008. – 258 с.

*Н.С. Барышников, Д.А. Ладин, студ.,
рук. Д.А. Полкошиников,
А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТ ГАРМОНИК ОТ ФИКТИВНОЙ ОБМОТКИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ВЫБЕГЕ

Производство и распределение электрической энергии и газа в Известно [1], что при возникновении обрывов стержней короткозамкнутых обмоток роторов (ОР) асинхронных электродвигателей (АД) в спектрах сигнала внутреннего магнитного поля (МП) появляются гармонические составляющие, называемые гармониками от фиктивной ОР (ФОР), которые присутствуют во внутреннем МП даже в режиме выбега. Зная закон изменение указанных выше частот, можно более точно определять их амплитуды и повысить достоверность диагностирования ОР.

Определение закона изменения частот гармоник от ФОР для внутреннего магнитного поля при выбеге АД является целью данной работы.

Анализ формулы для частот гармоник от ФОР, приведенной в [1], показал, что при выбеге данная формула изменяется, принимая вид

$$f_{\text{ФОР}}^v(t) = \frac{v \cdot n(t)}{60} \quad (1)$$

Для верификации данной формулы решено использовать математическую модель высоковольтного АД с одной парой полюсов типа 4АЗМ-2000/6000-УХЛ4. Процесс работы АД состоял из двух стадий: установившийся режим в течении 5 с, и режим выбега. Для анализа рассматривались первые 7 секунд выбега. Анализ полученных частотно-временных спектров внутреннего МП показал наличие гармонических составляющих от фиктивной ОР в режиме выбега АД с поврежденной ОР, величины частот которых совпали со значениями частот, вычисленных по формуле (1).

Данный факт свидетельствует о том, что закон изменения частот гармоник от ФОР АД при выбеге, описываемый формулой (1), определен верно.

Библиографический список

1. **Скоробогатов А.А.** Анализ спектра магнитного поля в зазоре асинхронного двигателя при повреждении обмотки ротора // Вестник ИГЭУ. – вып. 2. – Иваново: ИГЭУ, 2006. – С. 75-78.

*А.А. Малюгин, В.С. Повалихин, студ.;
рук. Скоробогатов А.А., к.т.н., доц.,
Д.А. Полкошников; (ИГЭУ, г. Иваново)*

КРИТЕРИИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ОБМОТКИ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ

Известно, что по картине внутреннего магнитного поля асинхронного электродвигателя (АД) в режиме выбега можно определить наличие повреждений обмотки ротора [1]. Однако, как показывают результаты экспериментов, проведенных на математических моделях АД, данный метод применим не для всех АД, а только для высоковольтных.

Целью данной работы является вывод условия применимости данного метода для АД различных типов.

В работе выполнен пошаговый вывод этого условия. Так как у высоковольтных АД соотношение индуктивного (X_{OP}) и активного (R_{OP}) сопротивлений выше, чем у низковольтных, то и постоянная времени затухания апериодической составляющей тока обмотки ротора ($T_{a.зам}$) у высоковольтных АД имеет большее значение. Это дает возможность произвести диагностику обмотки ротора на выбеге. Учитывая данный факт, было получено условие, которое позволяет определить, применим ли указанный метод для конкретного типа АД:

$$\frac{X_{OP}}{R_{OP}} \geq 10,7 \cdot \pi \cdot \Delta F \cdot \rho \cdot s_{ном},$$

где ΔF – ширина главного лепестка используемого окна по сравнению с шириной главного лепестка прямоугольного окна; ρ – число пар полюсов; $s_{ном}$ – номинальное скольжение.

Анализ результатов, выполненных на основании данного условия, для двух АД (низковольтного АИР и высоковольтного 4АЗМ) показал, что условие выполняется только для высоковольтного АД.

Библиографический список

1. Полкошников Д.А., А.А. Скоробогатов А.А., Ладин Д.А., Барышников Н.С. Исследование влияния повреждения обмотки ротора электродвигателя собственных нужд электростанций на внутреннее магнитное поле при выбеге // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии, 2021 – С. 78-81.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ В ОБМОТКЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА

В настоящее время при исследовании переходных процессов, происходящих на электростанции, основное внимание уделяется коротким замыканиям в цепях статора, так как эти повреждения неизбежно приводят к отключению оборудования даже при витковых замыканиях в обмотке статора. Ротор же генератора вращается синхронно с сетью, поэтому витковые замыкания в обмотке возбуждения не приводят к таким тяжелым последствиям, как со статором, и это является причиной недостаточного внимания со стороны специалистов в данной области – никак не исследованы переходные процессы при повреждениях в цепях ротора.

Цель работы – заполнить этот пробел.

Для решения поставленной задачи на платформе SPICE [1] была использована модель-симулятор синхронного генератора [2]. Для анализа выбрано три вида повреждений:

- витковое замыкание половины обмотки возбуждения,
- полное короткое замыкание обмотки возбуждения,
- обрыв цепи возбуждения.

В результате были получены графики скорости и электромагнитного момента синхронного генератора для трех случаев. При анализе этих графиков выявлено следующее:

1. Как при обрыве цепи возбуждения, так и при коротком замыкании обмотки возбуждения синхронный генератор входит в асинхронный режим.

2. Потеря возбуждения во всех случаях приводит к возникновению отрицательного (опережающего) скольжения генератора, но с разным значением.

3. При витковых замыканиях обмотки возбуждения уменьшается намагничивающая сила, которая затем восстанавливает автоматический регулятор возбуждения.

Библиографический список

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

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ КАНАЛА СВЯЗИ

Устойчивость ЦПС — это способность всей системы и отдельных ее элементов сохранять работоспособность во всех штатных ситуациях, в том числе аварийных. Для ЦПС критичным фактором устойчивости является режим повышенной информационной нагрузки — «шторм». Информационной перегрузке наиболее подвержена шина станции. Поскольку по этой шине производится обмен логическими сигналами, а в момент аварии количество сообщений резко возрастает, возможна задержка и даже потеря сообщений.

Для проверки устойчивости работы алгоритмов цифровой релейной защиты при увеличении информационной нагрузки канала связи в данной научной работе были смоделированы 3 режима работы: нормальный, аварийный, режим информационного шторма.

Устройства, использованные в эксперименте: источник сигналов по протоколу SV РЕТОМ 61850, управляемый коммутатор SEWM3G28SKT/SEWM328GKT, устройство релейной защиты Сириус-3ЛВ-05, сервер точного времени СВ-04 Экра, коммутатор ЕКІ-2526М, DANEO 400. С помощью специального ПО была произведена их настройка и фиксация результатов эксперимента. Пропускная способность шины процесса была установлена 100 Мб/с и зафиксированы результаты. Затем 1 Гб/с и повтор эксперимента.

Экспериментально подтверждено, что коммутатор с пропускной способностью 1 гигабит способен обеспечить обмен информацией между устройствами РЗА с минимальной задержкой и гарантированной доставкой при нормальном режиме работы локальной сети, так и в случае ее перегрузки.

Библиографический список

1. **Яблоков А.А., Панащатенко А.В.** Изучение работы терминала релейной защиты и автоматики Сириус-3ЛВ-05 АО «РАДИУС Автоматика» с поддержкой МЭК61850, – Иваново, 2021.
2. **Яблоков А.А., Панащатенко А.В.** Изучение основных технологий локальных вычислительных сетей и приобретение навыков работы с коммутаторами цифровых подстанций, – Иваново, 2021.
3. **Панащатенко А.В.** Изучение работы испытательного комплекса РЕТОМ-61850, – Иваново, 2019.

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

АНАЛИЗ СХЕМ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ПГУ

Одним из основных направлений развития тепловой генерации является внедрение парогазовых установок (ПГУ). Сегодня в России насчитывается более 30 тепловых электростанций на базе ПГУ.

Текущая нормативная база в области проектирования электрических станций является устаревшей и не учитывает многих особенностей ПГУ. В частности, отсутствуют научно-обоснованные рекомендации по выбору схем выдачи мощности электростанций на базе ПГУ. Целью данной работы является формирование таких рекомендаций на основе анализа дисконтированных затрат в зависимости от ряда факторов:

1. принцип построения схемы выдачи мощности – блочный или с укрупнением блоков;
2. класс напряжения и величина установленной мощности;
3. число часов использования максимума установленной мощности и, соответственно режим работы (пиковый, полупиковый, базовый);
4. компоновка энергетической части ПГУ и наличие байпасирования котлов утилизаторов.

Расчет дисконтированных затрат выполнялся в соответствии с методикой [1] по следующему выражению:

$$Z = K + I \cdot \frac{(1 + E_{\text{нп}})^n - 1}{E_{\text{нп}} \cdot (1 + E_{\text{нп}})^n},$$

где K – капиталовложения, рассчитанные на основе [2]; I – издержки; $E_{\text{нп}} = 0,06$ – ставка дисконтирования; $n=30$ лет – жизненный срок объекта, в течении которого сооружаемый объект достигнет заданных характеристик.

Проведенный анализ показал, что, например, укрупнение блоков целесообразно только для ПГУ с компоновкой типа «моноблок», предназначенных для работы в полупиковом или базовом режимах.

Библиографический список

1. **СТО 56947007- 29.240.01.271-2019** Методические указания по технико-экономическому обоснованию электросетевых объектов. Эталоны обоснований.
2. **СТО 56947007-29.240.124-2012.** Сборник «Укрупнённые стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35-1150 кВ» 324 тм. Т.1 для электросетевых объектов ОАО «ФСК ЕЭС».

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

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОВЕРКИ КАБЕЛЕЙ ПОДСТАНЦИЙ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ И НЕВОЗГОРАЕМОСТЬ

Цель данной работы - произвести аналитический расчет выбора и проверки отходящих кабельных линий от распределительных устройств низшего напряжения, при различных нагрузках, токах короткого замыкания, а также принимаемых основных и резервных защит кабельной линии, при прочих равных условиях.

Расчетную продолжительность короткого замыкания при проверке проводников на термическую стойкость следует определять путем сложения времени действия основной релейной защиты, в зону которой входят проверяемые проводники и электрические аппараты, и полного времени отключения соответствующего выключателя, а при проверке кабелей на невозгораемость - путем сложения времени действия резервной релейной защиты и полного времени отключения ближайшего к месту КЗ выключателя [1].

На отходящих линиях необходимо предусматривать: максимальную токовую защиту; токовую отсечку; защиту от перегрузки (на ТСН); защиту от замыканий на землю; дуговую защиту и УРОВ [2]. Но на сегодняшний день нет нормативной документации регламентирующей, какая же релейная защита кабельной линии является основной, а какая резервной. Большинство проектировщиков основной защитой принимают токовую отсечку, ввиду ее быстродействия (срабатывает быстрее МТЗ). Но токовая отсечка защищает только часть линии, поэтому является всего лишь дополнительной защитой. С другой стороны, принимая основной защитой МТЗ отходящей кабельной линии и резервной защитой МТЗ на вводном выключателе, будет завышено сечение кабельной линии – излишние неоправданные затраты.

Библиографический список

1. **ГОСТ Р 52736–2007** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания, дата введения: 01.07.2008. – 44 с.
2. **СТО 56947007–29.240.10.248–2017** Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС); ПАО «ФСК ЕЭС», дата введения: 25.08.2017. – 135с.

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

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время в мире наблюдается тренд к использованию возобновляемых источников энергии взамен традиционным станциям, работающим на ископаемых видах топлива.

Одним из источников ВИЭ является солнечная энергия. Это полезная энергия, которая генерируется солнцем в форме электрической или тепловой энергии. Она может улавливается различными способами, наиболее распространенным из которых является использование фотоэлектрических солнечных панелей, которые преобразуют солнечное излучение в полезное электричество.

В докладе представлена разработка объекта микрогенерации на базе ИГЭУ. С 27 декабря 2019 года на розничном рынке электрической энергии появился новый субъект, а точнее производная субъекта розничного рынка электроэнергии – это микрогенерация.

Микрогенерация – это объект по производству электрической энергии, принадлежащий потребителю (частному лицу или организации), который технологически присоединен к сетям на уровне напряжения не более 1 кВ с максимальной мощностью не более 15 кВт.

В докладе была оценена эффективность объекта микрогенерации на солнечной энергии. Именно этот вид энергии является наиболее подходящим для климатических и природных условий в Ивановской области. В докладе приведены оценка климатических условий места строительства, выбрано необходимое оборудование, произведен годовой расчёт выработки электроэнергии по месяцам, определены капиталовложения на реализацию проекта и рассчитаны основные экономические показатели проекта. Проведён анализ и оценка полученных результатов, а также вывод о целесообразности такой установки в Ивановской области.

У микрогенерации в России есть существенный потенциал развития. Она даст толчок развитию индивидуального жилищного строительства, особенно на территориях Дальнего Востока, других изолированных территориях. Но развитие микрогенерации, как и любой другой отрасли, зависит от экономической целесообразности - насколько выгодно вкладывать в такие проекты свои средства.

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

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОЧИХ МАШИН

Из литературных источников [1] известно, что применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования какого-либо технологического параметра. Если это транспортер или конвейер, то можно регулировать скорость его движения. Если это насос или вентилятор – можно поддерживать давление или регулировать производительность. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения.

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

Исследование графиков технологических процессов показывает, что особый экономический эффект от использования преобразователей частоты дает применение частотного регулирования на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей и газов.

До сих пор самым распространённым способом регулирования производительности таких объектов является использование задвижек (дросселирование), направляющих аппаратов или регулирующих клапанов, но сегодня доступным становится частотное регулирование асинхронных двигателей, широко используемых в качестве привода вращающихся рабочих машин системы собственных нужд электростанций.

Библиографический список

1. **Скоробогатов А.А.** Электрическая часть тепловых и атомных электростанций: учеб. пособие / ФГБОУВО «Иван. гос. энергет. ун-т им. 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 ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В электрических сетях напряжением 6-10 кВ ключевой проблемой является способ заземления нейтрали. Актуальность данной проблемы обусловлена тем, что режим работы нейтрали в сетях собственных нужд электростанций оказывает значительное влияние на надежность электроснабжения потребителей и сохранность электрооборудования. Помимо этого, способ заземления нейтрали играет ключевую роль в обеспечении безопасности людей и животных, находящихся в местах прохождения электрических линий, а также в значительной степени определяет выбор принципов и типов устройств релейной защиты и автоматики.

Наиболее распространенный вид повреждений в сетях 6-10 кВ – однофазные замыкания на землю. Возникающие при этом дуговые перенапряжения опасны для электрооборудования. В настоящее время системы собственных нужд электрических станций работают в основном с изолированной нейтралью. Релейная защита от однофазных замыканий на землю 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. Поиск поврежденного присоединения требует значительных затрат времени и ресурсов.

Анализ и сравнение всевозможных способов заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ позволит выбрать оптимальный режим заземления нейтрали, позволяющий избавиться от опасных перенапряжений и повышающий быстродействие и селективность релейной защиты.

Библиографический список

1. **Правила** устройства электроустановок. Утв. Приказом Министерства энергетики РФ от 08.07.2002 № 204 «Об утверждении глав Правил устройства электроустановок». – СПб: ДЕАН, 2002.
2. **СТО** Газпром 2-1.11-070-2006. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром».
3. **Васюра Ю.Ф.** Защита от перенапряжений в сетях 6–10 кВ. – М.: Электротехника, 1994. – № 5/6.

*С.Д. Никитина, АО «ОЭК»;
рук. В.А. Савельев, д.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ 20 кВ С НИЗКООМНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ

В начале 2000-х годов в России появилось новое направление – развитие электрических сетей напряжением 20 кВ с низкоомным резистивным заземлением нейтрали. Их активное развитие началось в Москве и было связано с увеличением концентрации мощности на ограниченных площадях, с сооружением крупных деловых и торгово-развлекательных центров. Однако, сеть 20 кВ имеет свои особенности, связанные с низкоомным резистивным заземлением нейтрали, которые существенно влияют на выбор уставок срабатывания релейной защиты и автоматики и на электробезопасность в сети.

В докладе рассматриваются проблемы, связанные с выполнением условий обеспечения электробезопасности в кабельной сети 20 кВ, снижения перенапряжений и селективного отключения однофазных замыканий на землю.

В 2019 году на основе международного стандарта МЭК 60364-4-44:2007 был разработан ГОСТ [1], который вводит такое понятие, как напряжение повреждения. Важным достоинством ГОСТ [1], является тот факт, что он предоставляет методику расчета напряжения повреждения и нормирует его допустимые значения.

По этой методике автором выполнены расчеты и определены напряжения, возникающие при повреждениях в городской кабельной сети 20 кВ, получающей питание от ПС с резистивно заземленной нейтралью.

По итогам расчетов наибольшие значения напряжения повреждения на ЗУ ПС наблюдаются при замыкании фазы на экран кабеля вблизи шин удаленной ПС, что обусловлено протеканием тока резистора по контуру заземления ПС и его возврата через контур заземления ПС.

Библиографический список

1. **ГОСТ Р 50571.4.44-2019 (МЭК 60364-4-44:2007)** Национальный стандарт Российской Федерации. Электроустановки низковольтные. Ч.4.44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений. – М.: Стандартинформ, 2019.

*В.А. Иванов, Д.Ю. Брезгин, студ.;
рук. И.Н. Сульменков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) с синхронными генераторами на постоянных магнитах широко применяются в современной ветроэнергетике. Ветроустановки с таким типом возбуждения конструктивно более простые и обеспечивают выработку электроэнергии в широком диапазоне изменения скорости ветра. Эффективность использования ВЭУ зависит от большого числа факторов, таких как скорость ветра, механические и электрические параметры самой ветроустановки, электрические параметры энергосистемы. Для исследования влияния различных факторов на работу установки была поставлена задача моделирования ВЭУ и режимов ее работы.

В докладе представлена математическая модель ВЭУ, разработанная в программном продукте MATLAB Simulink. При реализации модели был использован типовый блок генератора постоянного тока с набором дополнительных блоков, моделирующих его работу совместно с ветроколесом в составе ВЭУ и с энергосистемой. Предлагаемая модель была опробована на лабораторном образце ветроустановки. Исходные данные для модели, характеризующие механические и электрические параметры установки, были определены по физической модели. Произведена оценка адекватности математической модели. Расхождение при сравнении данных, полученных на математической и физической моделях, составило от 0,6 до 5% в зависимости от режима работы.

На втором этапе проведены исследования режимов работы ветроустановки. Получены рабочие характеристики и определены оптимальные настройки параметров ВЭУ в зависимости от набора входных параметров.

Предлагаемая модель ВЭУ может быть использована для установок иных размеров и мощности для моделирования режимов их работы, определения энергетических характеристик и разработки эксплуатационных технологических карт.

СЕКЦИЯ 19

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

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

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

А.Ф. Гибадуллин, студ.;
рук. Е.А. Миронова, к.п.н, доц.
(КГЭУ, г. Казань)

ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Трансформаторное масло является наиболее уязвимым изоляционной композиции силовых трансформаторов. Поэтому вопрос выбора критерия, указывающего на необходимость его замены, является важным фактором увеличения срока его эксплуатации и повышения надежности всей системы электроснабжения в целом [1].

В процессе старения в масле накапливается шлам, который снижает диэлектрические свойства изоляции, и может стать причиной неравномерного нагрева частей трансформатора.

По этой причине отслеживание формирования шлама выступает в качестве ключевого контроля состояния трансформаторного масла, качество которого в свою очередь является главным критерием долговечной работы устройства.

На данный момент распространены лишь косвенные методы анализа трансформаторных масел: по пробивному напряжению, кислотному числу, тангенсу угла диэлектрических потерь, цвету, прозрачности и др., все они требуют забор проб, что не дает возможность осуществлять постоянный дистанционный мониторинг.

Однако известны устройства оперативного контроля состояния жидких диэлектриков, принцип работы которых основан на анализе оптических характеристик пропускания и флуоресценции.

Данное явление описывается многофакторной зависимостью и его характеристика довольно сложна, поэтому для упрощения используют относительную характеристику - коэффициент относительного светопропускания, отражающий оптические свойства масла по отношению к эталону.

Таким образом, изучение оптических свойств электроизоляционных жидкостей является актуальным направлением развития систем непрерывного мониторинга состояния трансформаторного масла, что, в свою очередь, позволит заблаговременно осуществлять необходимое техническое обслуживание и продлить срок службы силовых трансформаторов.

Библиографический список

1. Фасыхов А.Р., Крахмалец А.В. Анализ методов диагностики трансформаторного масла //Тинчуринские чтения-2021" Энергетика и цифровая трансформация", 2021. – С. 294-297.

*А.И. Дремин, студ., Т.А. Коньшина², м.н.с.;
рук. Е.Н. Макарова-Землянская (к.м.н.)
(¹РУТ (МИИТ), ²ФГБНУ «НИИ МТ», г. Москва)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ НА КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Выполнение электротехническим персоналом работ при отключенной контактной сети железной дороги и на потенциале провода без отключения питания может сопровождаться превышением предельно допустимых уровней напряженности электрических полей промышленной частоты (ЭП ПЧ). Основным способом защиты персонала от негативного воздействия ЭП ПЧ является применение средств индивидуальной защиты (СИЗ).

При использовании СИЗ должна обеспечиваться безопасность персонала при работах вблизи токоведущих частей, однако оценка уровней экспозиции ЭП ПЧ в этих условиях до настоящего времени не проводилась. В связи с этим актуальной является проблема оценки эффективности СИЗ по степени ослабления напряженности ЭП ПЧ.

Задачи работы заключались в проведении оценки уровней экспозиции ЭП ПЧ на рабочих местах персонала при различных условиях (до и после выравнивания потенциала между проводом и изолированной площадкой лейтера) и численного моделирования аналогичных условий при присутствии человека, одетого в СИЗ.

Измерения проводились на дистанции железной дороги анализатором электрических полей EFA-300 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия), численные модели разрабатывались в среде трехмерного моделирования SEMCAD X v.19.2.

При нахождении персонала, одетого в СИЗ, на изолированной площадке и при размещении лейтера напротив опоры уровни ЭП ПЧ на расстоянии 0,3 м от провода составляли до $53,0 \pm 1,2$ кВ/м, а после выравнивания потенциала уменьшались до $21,0 \pm 0,9$ кВ/м. В численных моделях экспозиции рабочего места при аналогичных условиях уровень ЭП ПЧ до выравнивания потенциала составил 48 кВ/м и после выравнивания – 16 кВ/м. Таким образом, разработанные численные модели, подтвержденные инструментальными измерениями, являются корректными и могут использоваться для оценки эффективности СИЗ в условиях работы на контактной сети переменного тока железной дороги.

А.О. Халиман, студ.;
рук Ю.В. Целебровский, д.т.н, проф.,
(НГТУ, г. Новосибирск)

ПРОТИВОВЕС, КАК ШУНТИРУЮЩИЙ ЗАЕМЛИТЕЛЬ

В опубликованных работах по грозозащите изложены рекомендации и требования по защите от прямых ударов молнии, В большинстве работ противовес рассматривается как заземлитель, снижающий обратное напряжение при ударе молнии в опору. Однако, эффективность противовеса подтверждается лишь в определённых случаях.

На ВЛ 220 кВ Wallenraupack—Siegfried в 1926—1928 гг. наблюдалось значительное число перекрытий от грозовых перенапряжений с непропорционально большой концентрацией их на участках линии, которые были расположены на возвышенной местности с большим удельным сопротивлением грунта [1]. Инженеры А. Silver и N. Stahl весной 1929 г. посоветовали проложить в этом месте противовесы длиной 4 км, от опоры к опоре. Уменьшение перерывов в подаче энергии, стало стимулом к оснащению в 1930—1931 гг. противовесами уже 36 км трассы.

ВЛ 220 кВ (Северный Казахстан), проходящая через овраг со скалистым грунтом и вертикальным слоем породы повышенной проводимости, имела 3 отключения за грозовой сезон 2001 года [2]. После установки противовеса, шунтирующего овраг, грозовые отключения прекратились. При исследовании грозопоражаемости ВЛ 110 кВ в Ямало-Ненецком округе [2] было выявлено, что разряды молнии поражали лишь те опоры, которые находились рядом с границами перехода ВЛ из болота на песчаную возвышенность с высоким удельным сопротивлением грунта. В этом случае установка противовесов также решила проблему грозовых отключений.

Эти экспериментальные факты позволяют выдвинуть гипотезу о шунтирующем влиянии противовеса, устраняющего большую плотность заряда на границе раздела грунтов. Теоретическое и экспериментальное обоснования этой гипотезы – предмет дальнейшей работы.

Библиографический список

1. Lewis W.W., Foust C.M. Lightning Investigation on Transmission Lines---II // Transactions AIEE. -1931. - Vol. 50. N 9. – p. 1141.
2. Целебровский Ю.В. Опыт модернизации грозозащиты ВЛ с учётом избирательной грозопоражаемости // Первая Российская конференция по молниезащите. Сборник докладов. Новосибирск, 26-30 ноября 2007 г. / Под ред. Ю.В.Целебровского. – Новосибирск: Сибирская энергетическая академия. 2007. – 47 с.

*Ф. Ньетерейе, студ.;
рук. А.Е. Усачев, д.ф.-м.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В НИХ

В докладе сообщается о сравнительном анализе преимуществ и недостатков диагностики силовых трансформаторов по различным методам регистрации частичных разрядов (ЧР). Рассмотрены акустический, электромагнитный, оптический и электрический контактный методы оценки состояния изоляции силовых трансформаторов.[1] Делается заключение о наибольшей информативности контактного электрического метода.[2] Проводится сравнение результатов проведённых экспериментальных исследований ЧР в трансформаторах ПС «Кендири 500» с литературными данными по ЧР в трансформаторах. Измерения проводились электрическим контактным методом, а датчики ЧР присоединялись к ПИН выводам трансформаторных вводов. Показывается, что большая часть ЧР происходит при увеличении модуля напряжения в диапазонах фазовых углов 35-85 градусов в положительном и 215-260 в отрицательном полупериодах. Утверждается, что в работающем трансформаторе эти фазные углы возникновения ЧР не могут быть связаны с одной из основных характеристик ЧР – напряжением возникновения ЧР. Установлено, что при регистрации ЧР от какого-либо дефекта в работающих силовых трансформаторах измеряемый бросок напряжения может на порядок – полтора быть меньше, чем бросок напряжения при ЧР в том же самом дефекте при ремонтной диагностике, когда трансформатор отключается от сети. [3] Разработан алгоритм учёта таких различий и создана программа представления результатов измерений ЧР в виде размеров и положения дефектов в обмотке трансформатора.

Библиографический список

1. © 1997 - 2022 "СвязьКомплект": Частичные разряды в изоляции: методы, приборы, диагностика, <https://skomplekt.com/chastichnye-razryady/>.
2. © 2009-2022 ООО "Димрус": Измерение ЧР в изоляции трансформаторного оборудования. <https://dimrus.ru/texts/measpd.html>.
3. © 2013-2022 TEST-ENERGY.ru: Измерение частичных разрядов в трансформаторе, <https://test-energy.ru/izmerenie-chastichnyh-razryadov-v-transformatore/>.

*Д.Ю. Жаворонков, студ.;
рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

Заземлители являются обязательным элементом оборудования электроэнергетических предприятий. Расчеты электрических полей предшествуют созданию любого устройства или изоляционной конструкции в технике высоких напряжений. Многообразие электродных систем порождает множество различных методов и способов расчета напряженности электрических полей с целью оптимизации и уменьшения габаритов установок без снижения электрической прочности.

Заземляющие устройства должны обеспечивать безопасность персонала электроустановок, поэтому актуальной задачей является точное определение электрических характеристик поля, создаваемого заземлителем в эксплуатации и при испытаниях электроустановок, а также при аварийных режимах при стекании тока короткого замыкания при нарушении изоляции оборудования [1].

Решение задачи выполнено в программном комплексе ANSYS MAXWELL. Заземлитель в виде полусферы радиуса $r_{ш}$ погружен в грунт вровень с его поверхностью. При нарушении изоляции трансформатора с заземлителя стекает стационарный ток замыкания I . В расчётах известна длина шага $l_{ш}$, радиус электрода $r_{ш}$, допустимое шаговое напряжение $U_{ш, доп.}$, удельное сопротивление грунта ρ . В программном комплексе задаются геометрия модели – полусфера, физические свойства сред. Также необходимо ввести найденную величину плотности тока. Для того чтобы задача была решена корректно необходимо задание граничных условий. Условия задаются во всех точках расчетной области. После всех выполненных действий в модели создается расчетная сетка конечных элементов и выполняется решение задачи. Когда решение закончится, откроется окно результатов решения. Решение задачи представлено в виде картин поля – распределения напряженности и потенциала в любой точке модели, а также в виде таблиц.

При решении определены следующие характеристики граница опасной зоны, напряжение на границе опасной зоны, напряжение прикосновения, воздействующее на человека, оказавшегося в середине опасной зоны и коснувшегося бака трансформатора проводящим предметом в момент нарушения изоляции, сопротивление растеканию стационарного тока.

Библиографический список

1. Мельникова, О.С. Расчет электрического поля высоковольтной линии электропередачи: учеб.-метод. пособие/ О.С. Мельникова. – Иваново: изд. ИГЭУ, 2019. – 60с.

А.М. Чикалева, маг.;
рук. А.В. Вихарев, к.т.н., доц., С.В. Воробьев, ст. препод.
(ИГЭУ, Иваново)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ОБОРУДОВАНИИ

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 создание имитационной модели многоэлектродной системы, состоящей из сферических разрядников.

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

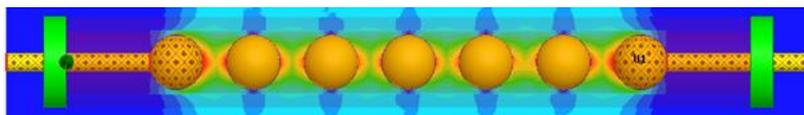


Рис. 1. Имитационная модель многоискрового разрядника в ANSYS Maxwell

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

Полученные результаты позволили выявить области повышенной неоднородности электрического поля и в дальнейшем могут быть использованы для проведения параметрического исследования и решения задачи оптимизации конструкции, разрабатываемого устройства, с целью улучшения его характеристик.

Библиографический список

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

А.М. Чикалева, маг.;
рук. М.В. Прусаков, к.т.н., доц., С.В. Воробьев, ст. препод.
(ИГЭУ, Иваново)

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ИНДУЦИРОВАННОГО ТОКА В ЗАЗЕМЛЁННЫХ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСАХ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 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].

При заземлении тросов на каждой опоре возникает контур, образованный тросом, опорой и землей, что в соответствии с законом электромагнитной индукции приводит к возникновению взаимоиндукции между фазными проводниками и заземленными участками грозозащитных тросов. В результате этого, в тросе появляется индуцированный ток, величина которого во многом зависит от мощности, передаваемой по ВЛ и геометрии опор.

Моделирование выполнялось в программном комплексе ATP-Draw, целью которого являлась оценка величины наведенного тока в грозозащитных тросах разного типа. Результаты исследований показали, что для одноцепных ВЛ 110 кВ величина индуцированного тока изменяется в пределах от 3 до 30 А, что существенно влияет на величину активных потерь на ВЛ. Выполненные исследования показали необходимость пересмотра требований к подвеске ОКГТ на ВЛ с целью снижения эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации № 204 от 7.05.2018 о национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года.
2. **Правила** Устройства Электроустановок (ПУЭ) – 7 изд. Утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
3. **СТО** 56947007-33.180.10.172-2014 Технологическая связь. Правила проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС на воздушных линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше.

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

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕМУСЯ НАПРЯЖЕНИЮ НА ИЗОЛЯЦИИ

В Ивановском государственном энергетическом университете (ИГ-ЭУ) на базе кафедры «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика» (ВЭТФ) в научно-исследовательской электротехнической лаборатории «Полигон для диагностики изоляции высоковольтных силовых кабелей» на образцах высоковольтных кабелей изучаются методы диагностики кабелей. Одним из эффективных неразрушающих методов контроля состояния изоляции является определение восстанавливающегося на изоляции напряжения. Для реализации этого метода на кафедре ВЭТФ собран лабораторный стенд.

Амплитуда восстанавливающегося напряжения, скорости нарастания и спада напряжения зависят от сопротивления и емкости изоляции. В связи с тем, что кабель представляет собой протяженную конструкцию, то общее состояние кабеля будет существенно зависеть от состояния отдельных участков изоляции.

Наиболее подвержены внешнему воздействию (увлажнению) кабельные муфты. Причем при увлажнении емкость муфты увеличится, а сопротивление ее изоляции снизится. При этом изменятся и параметры кабеля в целом. Но из-за существенного различия в длине муфты и кабеля, сопротивление изоляции кабеля снизится существенно (все сопротивление шунтируется муфтой), а емкость увеличится незначительно. Таким образом, изменятся амплитуда, постоянные времени нарастания и спада напряжения на кривой восстанавливающегося напряжения.

Для установления взаимосвязи параметров кривой восстанавливающегося напряжения с увлажнением, предлагается провести эксперимент на макетах с бумажно-масляной изоляцией (БМИ) с разным влагосодержанием. В качестве макета будет использован плоский конденсатор, состоящий из нескольких слоев кабельной бумаги. При проведении эксперимента часть сухих слоев будет заменяться на увлажненные. Полученные зависимости параметров кривой восстанавливающегося напряжения можно будет использовать для разработки методики оценки технического состояния изоляции высоковольтных кабелей с БМИ.

Д. Груздев, студ.;
рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЕМЛИТЕЛЯ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Заземлитель – это основной элемент заземляющего устройства. Заземлитель представляет собой одиночный заземляющий электрод или группу электродов, находящихся в электрическом контакте с землей.

Функциональность заземлителя определяется сопротивлением заземления, которое должны быть минимально низким. Для этого используются различные методы, в том числе глубинные заземлители.

В работе поставлена цель найти стационарное сопротивление растеканию тока с заземлителя сложной формы при заданной глубине погружения в грунт, сопротивления глубинного заземлителя и заземлителя, погруженного на минимальную глубину с помощью метода эквивалентных зарядов и программного комплекса ANSYS, в основе которого лежит метод конечных элементов [1].

Суть метода эквивалентных зарядов состоит в подборе некоторой системы вспомогательных (эквивалентных) зарядов, обеспечивающих известное значение потенциала ϕ на замкнутой проводящей поверхности S заданной формы. Эквивалентные заряды должны создавать поле, которое соответствовало бы реальному. Для расчета величин зарядов составляется системы линейных алгебраических уравнений. Далее рассчитаны относительные значения потенциальных коэффициентов, связывающие все заряды полеобразующей системы с потенциалами в расчётных точках. По известным потенциалам находятся значения сопротивления заземлителя.

С помощью программного комплекса ANSYS выполнена модель заземлителя сложной формы. Расчетная область разбивается на элементы произвольной (т.е. в области создается сетка конечных элементов) в том числе криволинейной формы. Использование аппроксимации распределения потенциала внутри элемента дает возможность получить значения напряженности в любой точке элемента, что позволяет найти необходимое сопротивление заземлителя.

Полученные результаты работы могут применяться при проектировании защитного заземления электроустановок, что обеспечит необходимые требования к безопасности эксплуатационного и ремонтного персонала энергетических предприятий; при проектировании систем молниезащиты электрических подстанций и распределительных устройств.

Библиографический список

1. Мельникова, О.С. Расчет электрического поля высоковольтной линии электропередачи: учеб. - метод. пособие/ О.С. Мельникова. – Иваново: изд. ИГЭУ, 2019. – 60с.

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

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В энергосистемах оценка производительности и надежности силовых трансформаторов основывается на состоянии его компонентов, испытаниях и техническом обслуживании, а также на их диагностике. Следовательно, оценка параметров работы силового трансформатора важна с точки зрения выявления зарождающихся отказов. Мониторинг состояния силового трансформатора в первую очередь связан с обнаружением зарождающихся неисправностей внутри трансформатора, возникающих в результате постепенного износа. Многие возникающие неисправности могут быть обнаружены на начальном этапе во время непрерывного мониторинга технического состояния.

Появление эмульгированной воды в масле приводит к резкому снижению электрической прочности изоляции трансформатора в целом. Так как наибольшее влияние на снижение электрической прочности маслобарьерной изоляции оказывают увлажненные волокна целлюлозы, всегда присутствующие в масле в процессе эксплуатации необходимо контролировать влагосодержание твердой изоляции и масла. При перегревах токоведущих элементов конструкции силовых трансформаторов происходит нагрев масла и твердой изоляции, что приводит к появлению частичных разрядов в масле. Электрическая прочность трансформаторного масла существенно меньше, чем у электротехнического картона, в связи с этим наибольшая напряженность электрического поля наблюдается именно в масляном канале. Основным газом, свидетельствующим о появлении частичных разрядов, является водород H_2 . Повышение газосодержания масла способствует более интенсивному окислению и ухудшению электрических характеристик изоляции трансформатора, поэтому необходим непрерывный контроль водород H_2 в процессе эксплуатации силовых трансформаторов. Образование газов при эксплуатации трансформаторов может происходить в результате разрушения электроизоляционных материалов под действием локального выделения теплоты, частичных разрядов и т. д. При горении в масле дуги в нем образуются продукты глубокого разложения углеводородов. Прежде всего, это газы, большинство из которых могут образовывать с воздухом горючие и взрывоопасные смеси.

Для диагностирования силовых трансформаторов в эксплуатации необходимо обеспечить непрерывный контроль трансформаторного масла по наиболее важным параметрам с помощью установки датчиков влагосодержания, контроля водород H_2 и горючих газов.

*М.А. Наумова, студ.;
рук. Ю.М. Смирнова
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВНЕШНЕЙ ИЗОЛЯЦИИ

Окружающая среда оказывает значительное воздействие на рабочие характеристики внешней изоляции, определяя ее выбор. Разрядные характеристики изоляторов существенно ухудшаются при наличии растворимых солей и влаги на их поверхности. Сложные механизмы смачивания и разномобразия условий окружающей среды приводят к необходимости испытания изоляторов в естественных условиях.

Функцией разрядных напряжений в определенных условиях окружающей среды является длина пути утечки изолятора. Фактором, определяющим длину пути утечки, является степень загрязнения, характерная для поверхности изоляторов в условиях эксплуатации. Для определения степени загрязнения необходимо исследовать снятый с эксплуатации изолятор. Методика определения степени загрязнения:

1. Измерить проводимость чистой ткани, погруженной в дистиллированную воду.
2. Тканью взять мазки с верхней и нижней поверхностей изолятора.
3. Прополоскать ткань в дистиллированной воде и измерить ее проводимость.
4. Раствор перенести в стандартный сосуд и разбавить до объема 0,5 или 1 литр.
5. Измерить проводимость разбавленного раствора при двух различных температурах. Проводимость, соответствующую 20 °С, рассчитать интерполяцией.
6. Вычислить степень загрязнения в мГ/см³, используя выражение

$$\text{Степень загрязнения} = \frac{0,42 (\text{объем в мл})}{\text{площадь в см}^2} (\sigma_{20^\circ\text{C}})^{1,039}$$

В зависимости от величины полученной степени загрязнения стандартно выделяют 4 уровня. К первому легкому уровню относятся среды, в которых степень загрязнения не превышает 0,06 мГ/см³. Ко второму среднему уровню относятся среды, в которых степень загрязнения не превышает 0,2 мГ/см³. К третьему тяжелому уровню относятся среды, в которых степень загрязнения не превышает 0,6 мГ/см³. Показатель степени загрязнения выше 0,6 мГ/см³ характерен для четвертого очень тяжелого уровня загрязнения.

Библиографический список

1. **Куффель, Е.** Техника и электрофизика высоких напряжений: [учебно-справочное руководство] / Е. Куффель, В. Цаенгль, Дж. Куффель ; пер. с англ. С. М. Смольского / Под ред. И. П. Кужекина. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 520 с.

Блудов К.Р.

рук. Т.Е. Шадриков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Для унификации и создания стандартизованных разъёмов и режимов зарядки аккумуляторных батарей электромобилей было принято решение разработать ряд стандартов, характеризующих режим и способ зарядки электромобиля. Большинство решений описаны в стандарте ИЕС 61851 [1] и его русскому варианту ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013.

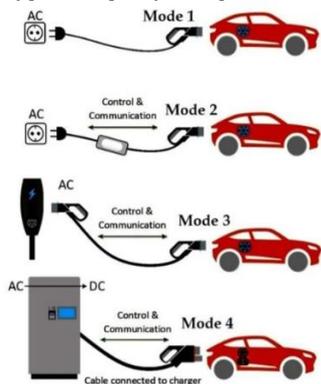


Рис. 1 Зарядные моды согласно ИЕС 61851

Согласно [1] существуют следующие варианты подзарядки:

Mode 1 – медленная зарядка переменным током от бытовой сети (до 3.7 кВт, 230 В);

Mode 2 – медленная зарядка переменным током от бытовой сети с использованием системы защиты внутри кабеля (3.7–7.4 кВт, 230 В);

Mode 3 – медленная или быстрая зарядка переменным током с использованием зарядной станции с функцией защиты и управления зарядом (3.7–43 кВт, 230–380 В);

Mode 4, он же стандарт CSS или CHAdeMo – быстрая зарядка постоянным током силой до 250 А при напряжении до 800 В и мощностям более 200 кВт с использованием внешнего источника питания.

В настоящее время уже существуют зарядные станции, выдающие напряжение в 1000 В DC [2], однако в перспективе, для сокращения времени заряда до 20 минут и менее, а также применения напряжения в 1200 В DC требуется исследование влияния на твёрдую изоляцию воздействия ШИМ напряжения с высокой частотой [3].

Библиографический список

1. ИЕС. "IEC 61851-1 ed2.0: Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements."
2. <https://ev2go.io/titancharge>
3. D. E. Moghadam, C. Herold and R. Zbinden, "Electrical Insulation at 800 V Electric Vehicles," 2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM), 2020. – pp. 115-119.

Чернова О.Д.
рук. Т.Е. Шадриков, к.т.н., доц., Соколов А.М., д.т.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Предполагается создание централизованной зарядной станции на 20-30 автомобилей для реализации протокола заряда Mode 1,2 или 3 согласно IEC 61851 с применением трансформаторов повышенной частоты. Технологическая часть решений соответствуют стандарту IEC 61851 [1] и его русскому варианту ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013.

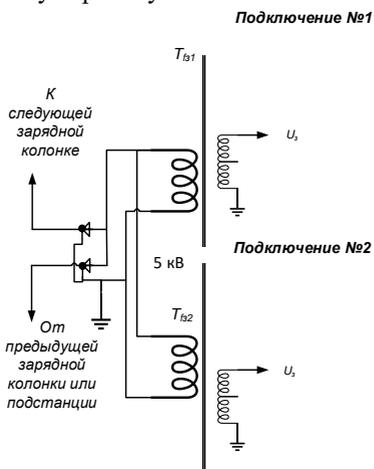


Рис. 1 Электрическая схема силовых соединений зарядной колонки на два подключения для обычной зарядки электромобилей с использованием несинусоидального переменного напряжения повышенной частоты; понижающие трансформаторы повышенной частоты T_{b1} и T_{b2} выполнены с использованием магнитопровода из аморфного материала

К преимуществам таких систем является возможность организации зарядной инфраструктуры в условиях естественного городского расположения и размещения всего силового оборудования на понизительной подстанции 6/10 кВ. Трансформаторы повышенной частоты используются как повышающие с включение последовательно по вторичной обмотке и распределения мощности на напряжении 5 кВ по двухпроводному кабелю (рис. 1).

Предполагается подключение одновременно двухзарядных станций к одному понижающему транс-

Библиографический список

1. IEC. "IEC 61851-1 ed2.0: Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements."

Н. А. Федотов, асп.;

рук. В.О. Белько, к.т.н., доцент (СПбПУ г. Санкт-Петербург)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ УПЛОТНЕНИЯ ОБМОТКИ СТАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ

В пазовой части обмотки статора высоковольтных генераторов в процессе эксплуатации возможно возникновение пазовых и вибродуговых разрядов, которые оказывают разрушающее воздействие на систему корпусной изоляции. Это может привести к преждевременному отказу машины. Для устранения подобных явлений в конструкции генератора предусмотрены радиальные (электроизоляционные) и боковые (проводящие) пружинящие элементы уплотнения из стеклотекстолита. Пружинящие характеристики обеспечиваются за счет волнообразной конструкции таких элементов. Это позволяет не только фиксировать обмотку статора в пазу, но и сохраняет постоянный электрический контакт пазового проводящего покрытия с сердечником статора. Но при воздействии в процессе эксплуатации вибрационных нагрузок и повышенных температур возможно снижение пружинящих (упругих) характеристик и изменение электрического сопротивления этих элементов. Для предотвращения повышения разрядной активности в пазовой части обмотки статора генераторов необходимо изучить изменение этих характеристик в процессе ускоренного теплового старения. Это позволит прогнозировать поведение системы изоляции в процессе эксплуатации.

Основными характеристиками, определяющими упругие свойства волнообразной изоляции является сохраняемость волны (СВ) и удельное усилие распрямления (УУР). Для определения данных характеристик была усовершенствована существующую методика с помощью записи деформационной кривой при сжатии волнообразных прокладок при различных температурах. Исследования проведены с помощью универсальной установки MARK – 10, как для отечественных, так и для зарубежных материалов бокового уплотнения толщиной 0,5–1 мм. Сопротивление проводящих элементов в процессе старения показало высокую стабильность. Однако, значения СВ и УУР резко снижаются уже на ранних стадиях старения. Это ослабляет фиксацию стержня в пазу и нарушает электрический контакт между пазовым покрытием и статором, что приводит к повышению разрядной активности в пазовой части обмотки статора.

Содержание

Секция 13. Электрические системы

<i>Чучев С.В., рук. Миронова Е.А.</i> Необходимость модернизации электро-снабжения 4-го района большого морского порта Санкт-Петербург	4
<i>Юдин А.А., рук. Казанцев А.А.</i> Параметры трансформаторов в схемах за-мещения	5
<i>Хабидуллин М.Н., Нуртдинов И.Г., рук. Абдуллин Л.И.</i> Снижение ком-мерческих потерь электроэнергии интеллектуальными системами учета	6
<i>Кощеева А.Г., Морозенко Г.К., рук. Антонов А.А.</i> Обоснование структур-ной схемы подстанции выдачи мощности ВЭС и СЭС	7
<i>Лосев Д.Ю., рук. Аллаев К.Р.</i> Прогнозирование параметров режима для противоаварийного управления ЭЭС	8
<i>Лосев Д.Ю., Абдуманнопов Г.К. угли, рук. Аллаев К.Р.</i> Особенности МГУА при прогнозировании параметров режима ЭЭС	9
<i>Иванов Д.А., Питерский Н.С., рук. Шунаев С.А.</i> Анализ существующих протоколов передачи данных для применения в системе диагностики подвесной изоляции	10
<i>Тиллаев С.А., рук. Хамидов Ш.В.</i> Задачи регулирования мощности в сложных энергосистемах при интеграции ВИЭ	11
<i>Егуданов Д.В., рук. Филина О.А.</i> Диагностика стержней после укладки в пазы и распайки	12
<i>Шилкин Д.В., Маслова Г.Д., рук. Маслов И.Н.</i> Возможности интеллекту-альных приборов учета в борьбе с хищениями электроэнергии	13
<i>Крайнов К.Р., рук. Юдина А.А.</i> Требования к установившимся и переход-ным режимам электроэнергетических систем	14
<i>Рафиков В.Р., Иванов И.Е., рук. Мурзин А.Ю.</i> Исследование подходов к идентификации параметров моделей синхронных генераторов с ис-пользованием инструментов оптимизации «MATLAB»	15
<i>Рафиков В.Р., Иванов И.Е., рук. Мурзин А.Ю.</i> Особенности моделирова-ния переходных процессов для верификации моделей синхронных ге-нераторов и устройств автоматического регулирования возбуждения	16
<i>Куликов Ф.А., рук. Иванов И.Е.</i> Совершенствование методов определе-ния места повреждения на ЛЭП сверхвысокого напряжения по синхро-низированным векторным измерениям	17
<i>Катюшин В.А., рук. Иванов И.Е.</i> Идентификация параметров воздушных линий электропередачи в особых электроэнергетических режимах	18
<i>Голованчиков Д.А.; рук. Кулешов А.И.</i> О влиянии коэффициента формы на расчет потерь электроэнергии в распределительных сетях	19
<i>Сочнев П.А.; рук. Братолобов А.А.</i> Влияние демпферных контуров на параметрическое самораскачивание синхронного генератора	20
<i>Некрасова А.М., рук. Мартиросян А.А.</i> Моделирование режимов работы преобразователя постоянного тока в программном комплексе MATLAB	21
<i>Умнов Я.А.; рук. Иванов И.Е., Мурзин А.Ю.</i> Анализ архивов векторных измерений при коротких замыканиях на воздушных линиях 500 кВ с использованием аварийных осциллограмм	22

<i>Суханова О.С.; рук. Голов В.П.; Кормилицын Д.Н.</i> Анализ влияния характеристик управляемого устройства продольной компенсации на области колебательной устойчивости электрической системы	23
<i>Шевцова А.А.; рук. Иванов И.Е.</i> Исследование динамической устойчивости простейшей электроэнергетической системы с автоматизацией расчетов	24
<i>Захаров А.А.; рук. Мартиросян А.А.</i> Расчет режимов Тульской энергосистемы при присоединении энергопринимающих устройств литейно-прокатного комплекса	25
<i>Чудинов Ю.А.; рук. Иванов И.Е.</i> Сравнительный анализ паспортных данных синхронных генераторов на предмет разброса расчетных параметров их моделей	26
<i>Чудинов Ю.А., Рафиков В.Р.; рук. Иванов И.Е.</i> Идентификация синхронных параметров гидрогенераторов по синхронизированным векторным измерениям	27
<i>Киселев А.А.; рук. Бушуева О.А.</i> Сравнительный анализ компактных управляемых линий электропередачи с линиями традиционного исполнения	28
<i>Тычкин А.Р.; рук. Иванов И.Е.</i> Разработка физико-математической модели в программно-аппаратном комплексе моделирования «RTDS» для анализа применимости синхронизированных векторных измерений в задаче ОМП	29
<i>Жемчугов А.А.; рук. Бушуева О.А.</i> Режимы линии электропередачи сверхвысокого напряжения с управляемой поперечной компенсацией	30
<i>Жуков Д.С.; рук. Бушуева О.А.</i> Исследование характеристик управляемых компенсирующих устройств на линиях электропередачи	31

Секция 14. Электроснабжение

<i>Первенёнок Р.Е., Сицко А.Л.; рук. Сицко А.Л.</i> Повышения показателей качества электрической энергии автономных систем электроснабжения на основе адаптивных алгоритмов	33
<i>Халтурин В.А.</i> Проектирование жилых комплексов с учетом новых значений удельной электрической нагрузки	34
<i>Солуянов В.И.</i> Проектирование жилых зданий по актуализированным значениям удельной электрической нагрузки	35
<i>Муллагалиев А.И.; рук. Шакурова З.М.</i> Модель SMART METERING для снижения потерь в электрических сетях	36
<i>Мерзлов Е.В.; рук. Вуколов В.Ю.</i> Оценка внешних влияющих факторов на работу автоматических выключателей	37
<i>Иванов А.В., Бедретдинов Р.Ш.; рук. Соснина Е.Н.</i> К вопросу о выборе месторасположения тиристорного регулятора напряжения	38
<i>Громовой М.В., Лелеткин Д.В.; рук. Шунаев С.А.</i> Стратегия управления энергией для резервного энергоснабжения из возобновляемых источников	39
<i>Шилкин Д.В., Маслова Г.Д.; рук. Маслов И.Н.</i> Снижение технических потерь электроэнергии в силовых трансформаторах 0,4/10 кВ	40

<i>Липужин И.А., Шалухо А.В.; рук. Лоскутов А.Б. Моделирование гибридного энергетического комплекса на основе водородных топливных элементов</i>	41
<i>Шалухо А.В., Бедретдинов Р.Ш., Крюков Е.В., рук. Лоскутов А.Б. Разработка физической модели гибридного энергетического комплекса на основе водородных топливных элементов</i>	42
<i>Хабибуллина А.Д., рук. Козелков О.В. Постановка задачи исследования методов контроля качества электроэнергии</i>	43
<i>Агзамов М.Ф., рук. Хакимзянов Э.Ф. Моделирование систем электропитания низкого напряжения для улучшения качества электроэнергии</i>	44
<i>Выговский М.О., рук. Бушуева О.А. Повышение эффективности системы электроснабжения текстильного предприятия</i>	45
<i>Федоров Г.Р., рук. Бушуева О.А. Разработка перспективной схемы электрической сети района костромской энергосистемы</i>	46
<i>Созинов А.В., рук. Бушуева О.А. Исследование показателей качества электроэнергии в схеме электроснабжения многоквартирного жилого дома</i>	47
<i>Баканова Е.А., рук. Сорокин А.Ф. Оценка несинусоидальности напряжения в системе электроснабжения предприятия</i>	48
<i>Крымова Д.Р., рук. Сорокин А.Ф. Повышение качества напряжения в системах электроснабжения предприятий с дугowymi сталеплавильными печами</i>	49
<i>Гарелина А.А., рук. Сорокин А.Ф. Выбор схемы заземления экранов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена</i>	50
<i>Виноградов Д.В., рук. Шульпин А.А. Повышение эффективности регулирования производительности механизмов с вентиляторными характеристиками</i>	51
Секция 15. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем	
<i>Алексеев Л.Л., рук. Вуколов В.Ю. Особенности применения микропроцессорной релейной защиты в сетях нетягового электроснабжения</i>	53
<i>Белов Я.Н., Евдокимов Д.М., Кринкин А.А., рук. Вуколов В.Ю. Разработка системы цифровой микропроцессорной релейной защиты с применением стандарта МЭК 61850 для подстанций 110/35/10 кВ</i>	54
<i>Зудкин П.А., рук. Наволочный А.А. Назначение синхронизации времени на цифровой подстанции</i>	55
<i>Зудкин П.А., рук. Наволочный А.А. Обзор перспективных направлений развития устройств РЗА</i>	56
<i>Крайнов К.Р., рук. Юдина А.А. Функции автоматизированных систем управления технологическим процессом</i>	57
<i>Кринкин А.А., Белов Я.Н., Евдокимов Д.М., рук. Вуколов В.Ю. Применение устройств синхронизированных векторных измерений (rtmu) в автоматизированных системах управления подстанционного уровня</i>	58
<i>Кутейников П.Д., рук. Дементьев С.С. Многофункциональная система мониторинга высоковольтных воздушных линий электропередачи</i>	59

<i>Лазарева А.В., Петрова Е.А., рук. Касимов В.А.</i> Вариации запаздывания локационных сигналов при изменении температуры проводов линий электропередачи	60
<i>Лазарева А.В., Петрова Е.А., рук. Касимов В.А.</i> Исследование влияния температуры проводов воздушных линий на затухание локационных сигналов	61
<i>Минаев И.А., рук. Хузяшев Р.Г.</i> Моделирование сигналов переходного процесса в линии с отпайкой	62
<i>Мясников Д.В., рук. Жаринов И.В.</i> Исследование дрейфа время-токовой характеристики автоматического выключателя	63
<i>Пелевин П.С., Лоскутов А.А., рук. Куликов А.Л.</i> Разработка модели ЛЭП для анализа алгоритмов волнового ОМП с использованием реальных сигналов	64
<i>Тимофеев А.А., Коцеева А.Г., рук. Смотров Н.Н.</i> Оценка влияния асинхронных электродвигателей на ток короткого замыкания в электроустановках напряжением свыше 1000 В	65
<i>Тухфатуллин И.Р., рук. Хузяшев Р.Г.</i> Моделирование параметров сигнала переходного процесса в линиях электропередач	66
<i>Юдин А.А., рук. Юдина А.А.</i> Управляющие воздействия противоаварийного управления	67
<i>Алексинский А.С., Попов А.Р., рук. Алексинский С.О.</i> Информационная система регистрации переходных процессов при однофазном замыкании на землю	68
<i>Вихарев Д.Ю., рук. Родин Н.А.</i> Алгоритм восстановления первичного тока при насыщении электромагнитного трансформатора тока	69
<i>Вихарев Д.Ю.; рук. Родин Н.А.</i> Реализация реле сопротивления на базе микроконтроллера STM32F769	70
<i>Григорьев Д.Г., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка установки на основе вычислительного комплекса RTDS и усилителя Ponovo PAV 5000 для исследования первичных измерительных преобразователей тока и напряжения	71
<i>Димитриевич Д.; рук. Фролова О.В.</i> Исследование алгоритма функции определения места повреждения на базе модельного метода	72
<i>Елсуков Д.В., рук. Шадрикова Т.Ю.</i> Модель воздушной сети 10 кВ с ветрогенератором в PSCAD	73
<i>Идрисов Д.М., рук. Лебедев В.Д.</i> Разработка и исследование токового блока питания с тиристорной защитой для ЦТТН	74
<i>Кузьмина Н.В., рук. Филатова Г.А.</i> Определение места повреждения линий электропередачи с древовидной структурой	75
<i>Попов А.Р., Алексинский А.С., Богдан А. рук. Алексинский С.О.</i> Порты токов терминала релейной защиты с расширенной полосой пропускания частот	76
<i>Симонов М.А.; рук. Фомичёв А.А.</i> Эквивалентирование схемы «система-генератор» в фазных координатах	77

<i>Тычкин А.Р., Куликов Ф.А., рук. Яблоков А.А. Исследование динамических характеристик фильтров устройств синхронизированных векторных измерений</i>	78
<i>Черный Д.С., рук. Шадрикова Т.Ю. Моделирование релейной защиты кабельной сети среднего напряжения с солнечной электростанцией</i>	79
<i>Шарыгин Д.С., Готовкина Е.Е. рук. Яблоков А.А. Исследование эффективности применения катушек Роговского для задач ОМП</i>	80
<i>Шарыгин Д.С.; рук. Яблоков А.А. Методология исследования автоматического многофакторного ОМП на линиях сверхвысокого напряжения</i>	81
<i>Шарыгин Д.С. Панацатенко А.В.; рук. Яблоков А.А. Исследование характеристик датчиков цифровых трансформаторов для работы в составе систем релейной защиты</i>	82

Секция 16. Электротехника и электротехнологии

<i>Порохин В.А., рук. Савенко А.Е. Освоение современных электротехнологий на флоте</i>	84
<i>Дятко М.М., рук. Савенко А.Е. Применение синхронных электродвигателей с постоянными магнитами на судах</i>	85
<i>Иващенко А.С., рук. Савенко А.Е. Планарные трансформаторы как новая тенденция в электротехнике</i>	86
<i>Харитонов М.Е., рук. Иванова В.Р. Универсальная зарядная станция для электромобилей</i>	87
<i>Лейман Е.И., рук. Савенко А.Е. Методы мониторинга индуктивностей рассеяния силовых трансформаторов</i>	88
<i>Готовкина Е.Е., Лебедев В.Д., Яблоков А.А., рук. Лебедев В.Д. Компактный измерительный преобразователь тока и напряжения</i>	89
<i>Готовкина Е.Е., Кабаков П.А., Яблоков А.А., рук. Яблоков А.А. Исследование метрологических характеристик катушек Роговского</i>	90
<i>Юсупова Ф., рук. Касимохунова А.М. Разработка и исследование математической модели малой мощной солнечной панели с программой MATLAB SIMULINK</i>	91
<i>Жолобов А.А., рук. Тихонов А.И. Калибровка цифрового двойника шагового двигателя</i>	92
<i>Симонов М.А., рук. Снитыко И.С. Методика уточнения величин активных сопротивлений трансформатора с учетом добавочных потерь</i>	93
<i>Вихарев Д.Ю., рук. Снитыко И.С. Расчет индуктивности тороидальной обмотки с применением векторного потенциала магнитного поля</i>	94
<i>Суслов Д.А., рук. Долгих И.Ю. Моделирование электротепловых процессов индукционного нагрева при поверхностной закалке стальных изделий</i>	95
<i>Емианов А.И., Махлычев А.С., рук. Долгих И.Ю. Исследование параметров режимов работы индукционной установки при сквозном нагреве цилиндрических титановых заготовок</i>	96

Секция 17. Электроэнергетика: прошлое, настоящее, будущее

<i>Смокталь Н.Н., рук. Завьялов В.М.</i> Эволюция средств измерения в электроэнергетических системах	98
<i>Кульбедин Д.С., Худoley А.В., Смаилов Д.Е., рук. Хажидинова А.Р.</i> Перспективы развития нетрадиционных источников энергии в РК	99
<i>Разакова А.И., Разакова Р.И., рук. Филлимонова А.А.</i> Основное оборудование водородной заправочной станции	100
<i>Петров А.Е.; рук. Лебедев В.Д.</i> Создание унифицированной платформы для киберфизического моделирования с применением RTDS и усилителей PONOVO на базе Цифрового полигона ИГЭУ	101
<i>Тумаков А.В., рук. Куленко М.С.</i> Программно-аппаратные средства для реализации алгоритмов нечеткой логики	102
<i>Лубенский А.А., рук. Савельев В.А.</i> Оценка экономической эффективности сооружения объекта микрогенерации на солнечной энергии	103

Секция 18. Электрооборудование и режимы
электрических станций и подстанций

<i>Баркалов Д.Д., рук. Лхамдондог А.Д.</i> Пуск и самозапуск асинхронных двигателей ответственных потребителей собственных нужд ТЭЦ	105
<i>Гатауллин М.А., рук. Миронова Е.А.</i> Реконструкция подстанции 110 кВ «Волна» Приволжских электрических сетей	106
<i>Давыдов Д.А., рук. Миронова Е.А.</i> Разработка мероприятий по обеспечению надежности низковольтных комплектных устройств	107
<i>Евдокимов Д.М., Белов Я.Н., Кринкин А.А., рук. Вуколов В.Ю.</i> Реализация концепции цифровая подстанция на примере типовой подстанции 110/35/10 кВ	108
<i>Макаров К.Ю., Щербинин Д.К., рук. Лхамдондог А.</i> Оценка воздействия токоограничивающих реакторов на уровень коротких замыканий при реконструкции ТЭЦ	109
<i>Мингалеев Р.Р., рук. Миронова Е.А.</i> Реконструкция подстанции «Макаровка 110/35/6 кВ» Приволжских электрических сетей	110
<i>Битней В.Д., Остроушко В.А., Булавина А.А., рук. Смотров Н.Н.</i> Анализ экономических издержек ГЭС при работе в режиме ПС	111
<i>Хамидулина Г.Х., рук. Миронова Е.А.</i> Расширение Заинской ГРЭС с установкой ПГУ общей установленной мощностью 850МВт	112
<i>Юдин А.Д., рук. Миронова Е.А.</i> Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов, отработавших нормативный срок службы	113
<i>Ладин Д.А., Барышников Н.С., Страхов А.С. рук. Страхов А.С., Полкошиников Д.А., Скоробогатов А.А.</i> Исследование влияния повреждения короткозамкнутой обмотки ротора электродвигателя на внешнее магнитное поле при выбеге	114
<i>Бегунов А.А., рук. Сульиненков И.Н.</i> О моделировании солнечных панелей	115
<i>Беспалова А.О., Чернов А.М., рук. Скоробогатов А.А.</i> Исследование влияния преобразователя частоты на гармонический состав тока статора асинхронного электродвигателя	116

<i>Величко П.О., рук. Лапшин В.М.</i> Низкоомное заземление нейтрали, как наиболее перспективное в сетях 6 кВ при наличии групп электродвигателей	117
<i>Иванов В.А., Брезгин Д.Ю., рук. Сулыненков И.Н.</i> Моделировании режимов работы ветроэнергетической установки с синхронным генератором на постоянных магнитах	118
<i>Козлов А.П., рук. Новоселов Е.М.</i> Внедрение нейросетевых технологий в электроэнергетику	119
<i>Козлов Н.П., рук. Савельев В.А.</i> Изменение свойств витковой изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации	120
<i>Кольчугин А.Ю., рук. Сулыненков И.Н.</i> О разработке программного комплекса для расчета надежности схем электроустановок	121
<i>Кувенев И.С., рук. Лапшин В.М.</i> Ограничение токов однофазного короткого замыкания на землю в сетях 110 кВ путем включения в нейтраль токоограничивающего реактора	122
<i>Кукушкин М.П., рук. Лапшин В.М.</i> Определение технического состояния агрегатов собственных нужд: методы оценки	123
<i>Кукушкин М.П., Величко П.О., рук. Лапшин В.М.</i> Асимметричный режим работы выпрямительно-зарядного устройства: анализ схемы и поиск проблем	124
<i>Барышников Н.С., Ладин Д.А., Страхов А.С., рук. Полкошников Д.А.</i> Определение закона изменения частот гармоник от фиктивной обмотки ротора асинхронного двигателя при выбеге	125
<i>Малюгин А.А., Повалихин В.С., рук. Скоробогатов А.А., Полкошников Д.А.</i> Критерии применения метода диагностики обмоток ротора электродвигателя по магнитному полю	126
<i>Резенькова М.А., рук. Скоробогатов А.А.</i> Исследование переходных процессов при повреждениях в обмотке возбуждения генератора	127
<i>Ситнов Д.А., Литвинов С.Н., рук. Сулыненков И.Н.</i> Экспериментальное исследование устойчивости работы алгоритмов цифровой релейной защиты при увеличении информационной нагрузки канала связи	128
<i>Филоненко И.С., рук. Новоселов Е.М.</i> Анализ схем выдачи мощности	129
<i>Щипков М.А., рук. Новоселов Е.М.</i> Изучение особенностей проверки кабелей подстанций на термическую стойкость и невозгораемость	130
<i>Лубенский А.А., рук. Савельев В.А.</i> Оценка экономической эффективности сооружения объекта микрогенерации на солнечной энергии	131
<i>Хабарин М.Р., рук. Лапшин В.М.</i> Способы регулирования производительности рабочих машин	132
<i>Железняков Р.А., рук. Лапшин В.М.</i> Режимы работы нейтрали в сетях 6-10 кВ собственных нужд электростанции	133
<i>Никитина С.Д., рук. Савельев В.А.</i> Особенности обеспечения электробезопасности в сетях 20 кВ с низкоомным заземлением нейтрали	134
<i>Иванов В.А., Брезгин Д.Ю., рук. Сулыненков И.Н.</i> Моделирование режимов работы ветроэнергетической установки с синхронным генератором на постоянных магнитах	135

Секция 19. Высоковольтная электроэнергетика и электротехника

<i>Гибадуллин А.Ф., рук. Миронова Е.А.</i> Диагностика трансформаторного масла	137
<i>Дремин А.И., Коньшина Т.А., рук. Макарова-Землянская Е.Н.</i> Оценка эффективности средств индивидуальной защиты при работе на контактной сети переменного тока железной дороги	138
<i>Халиман А.О., рук. Целебровский Ю.В.</i> Противовес, как шунтирующий заземлитель	139
<i>Ньетерейе Ф., рук. Усачев А.Е.</i> Диагностика силовых трансформаторов по регистрации частичных разрядов в них	140
<i>Жаворонков Д.Ю., рук. Мельникова О.С.</i> Исследование и расчёт электрического поля полусферического заземлителя	141
<i>Чикалева А.М., Воробьев С.В., рук. Вихарев А.В.</i> Имитационное моделирование при решении задач расчета и оценки электрических полей в высоковольтном оборудовании	142
<i>Чикалева А.М., Воробьев С.В., рук. Прусаков М.В.</i> Оценка величины индуцированного тока в заземлённых грозозащитных тросах на воздушных линиях электропередачи	143
<i>Степанычев С.В., рук. Вихарев А.В.</i> Диагностика состояния изоляции высоковольтных кабельных линий по восстанавливаемому напряжению на изоляции	144
<i>Груздев Д.Н., рук. Мельникова О.С.</i> Расчет стационарного сопротивления заземлителя сложной формы	145
<i>Коломейчук А.С., рук. Мельникова О.С.</i> Повреждаемость и диагностика силовых трансформаторов	146
<i>Наумова М.А., рук. Смирнова Ю.М.</i> Определение степени загрязнения внешней изоляции	147
<i>Блудов К.В., рук. Шадриков Т.Е.</i> О перспективах применения высокого напряжения в электрическом транспорте	148
<i>Чернова О.Д., рук. Шадриков Т.Е., Соколов А.М.</i> Исследование централизованной высоковольтной системы повышенной частоты для электропитания зарядной станции электротранспорта	149
<i>Федотов Н.А., рук. Белько В.О.</i> Исследование характеристик элементов уплотнения обмотки статора высоковольтных генераторов в процессе теплового старения	150

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

СЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2022»

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. 9,09.
Тираж 100 экз. Заказ № .
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ