

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.И. ПОЛЗУНОВА

ПАО «РОССЕТИ СИБИРЬ» - «АЛТАЙЭНЕРГО»

ПОСТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*МАТЕРИАЛЫ II РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(10 – 14 ДЕКАБРЯ 2024 Г.)*

АлтГТУ
Барнаул • 2025

Построение и функционирование современной системы электроснабжения : материалы II Региональной научно-практической конференции (10-14 декабря 2024 года, г. Барнаул) / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул: АлтГТУ, 2025. – 40 с. – URL : https://journal.altstu.ru/konf_2025/2025_1/141/. - Текст : электронный.

Конференция посвящена актуальным вопросам научно-практической деятельности ученых в области электроэнергетики. Сборник включает материалы конференции, проведенной 10-14 декабря 2024 года в г. Барнауле. Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственные редакторы:

Компанеец Борис Сергеевич – заведующий кафедрой
«Электрификация производства и быта»
Васильев Валерий Юрьевич – заведующий лабораторией кафедры
«Электрификация производства и быта»

Рецензенты:

Багаев А.А., д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»
Борзенко Александр Борисович, начальник Службы подстанций
ООО «Барнаульская сетевая компания»

Минимальные системные требования
Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т. п.
скорость подключения – не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т. п.

Дата подписания к использованию 24.04.2025. Объем издания - 1 Мб.
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, <https://www.altstu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Антонова Е.М., Компанеец Б.С. Анализ метода регулирования напряжения с использованием дополнительной обмотки трансформатора	4
Аристов А.С., Прокопенко А.С. Повышение надежности и качества передачи электроэнергии путём использования беспилотных летательных аппаратов при визуальном осмотре линий электропередачи	6
Ваулин Е.П., Вастьянов Н.М., Карнаков К.Д., Компанеец Б.С. Интеллектуальное оборудование цифровой подстанции.....	9
Голубцов С.С. Оценка энергетического потенциала пеллет из отходов деревопереработки	11
Загорюк М.В., Сидоров П.В., Галушко П.А. Применение волоконно-оптических линий для передачи данных между электросетевыми объектами цифровой сети.....	13
Кагарманова К.Р., Вагайцева В.Н., Кузема А.А. Перспективы внедрения цифровых подстанций на основе предиктивной аналитики в сеть электроснабжения	15
Кальсина Ю.В. Разработка цифрового двойника силового трансформатора для мониторинга в режиме реального времени.....	17
Коверник Д.Д., Гребенщиков Д.С., Сердюцких М.К. Анализ эффективности перспективных методологий диагностики подсистем цифровых подстанций.....	19
Конев Е.М., Компанеец Б.С. Разработка новой системы контроля состояния маслонаполненных трансформаторов 6/0,4 кВ и 10/0,4 кВ	22
Коноплев Н.Е. Перспективы внедрения активно-адаптированного регулирования напряжения в распределительных сетях группы компаний «Россети»	25
Корнилов Н.М., Кузьмин Д.Е. Развитие методов обеспечения электроэнергией труднодоступных и удаленных регионов	28
Кочешкова А.М., Грибанов А.А. Анализ методов контроля уровня напряжения в распределительных сетях	30
Лошков В.А., Бородин Д.Е., Казаков Р.Е. Актуальность внедрения роботизированного и автоматизированного обслуживания ЛЭП	32
Минусов А.А., Бугаев К.В., Климов А.И., Леденева Е.А. Новые технологии для повышения надежности работы ЛЭП и ПС	34
Овсепян В.А., Богоутдинов Е.Р., Девянин А.А., Компанеец Б.С. Анализ негативного влияния бросков тока включения силовых трансформаторов на элементы электрической сети .	36

АНАЛИЗ МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА

Антонова Елизавета Максимовна студент группы Э-12, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: elizabetha25@yandex.ru
Компанеев Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

Проанализированы методы регулирования напряжения на трансформаторах. Рассмотрена проблема возникновения электрической дуги при переключении между клеммами на обмотке трансформатора. Предложен метод регулирования напряжения под нагрузкой с применением дополнительной обмотки, имеющей фазорегулятор в качестве источника питания.

Ключевые слова: *регулирование напряжения, методы регулирования напряжения, регулирование под нагрузкой, фазный регулятор, снижение аварийности РПН.*

Регулирование напряжения – одна из важных операций, осуществляемая во время передачи электроэнергии от объектов генерации к электропотребителям. Оно необходимо для поддержания обеспечения экономичной и надежной работы системы электроснабжения. Для этого электросетевые компании используют различные методы: последовательное подсоединение регулировочных (вольтодобавочных) трансформаторов, компенсирующие устройства, вырабатывающие и потребляющие реактивную мощность, а также переключение без возбуждения (ПБВ) и регулировка под нагрузкой (РПН). Последние два метода наиболее часто применяются в случае, когда необходимо регулировать уровень напряжения со стороны потребителя. Принцип работы основан на регулировании коэффициента трансформации за счет изменения количества активных витков в обмотке трансформатора. Отличие работы РПН от ПБВ заключается в том, что во втором случае переключение возможно только при отключении трансформатора от сети, а соответственно, и прекращении электроснабжения потребителей. По этой причине метод переключения без возбуждения применяют только при установке трансформатора или во время смены сезонов. Регулировку под нагрузкой возможно проводить без перерывов в электроснабжении потребителей, однако в этом случае при переключении между выведенными клеммами может возникнуть электрическая дуга. Ее появление объясняется законами коммутации, согласно которым ток в элементах индуктивности до начала коммутации и в начальный момент после ее завершения равны. Возникновение дуги при частых переключениях негативно сказывается на оборудовании трансформатора: состояние контактов ухудшается, а процесс старения масла, предназначенного для охлаждения и изоляции токоведущих частей, значительно ускоряется. До 40% общих аварий на трансформаторных подстанциях связаны с выходом из строя устройств регулирования под нагрузкой [1]. Исходя из этого, появляется необходимость в разработке новых методов регулирования напряжения в трансформаторах без переключающих контактов.

Напряжение во вторичной обмотке трансформатора образуется за счет изменения величины магнитного потока, проходящего через обмотку. Традиционным способом магнитный поток регулируют за счет изменения количества активных витков. Альтернативным способом изменения магнитного потока, проходящего через обмотку, является добавление дополнительной катушки, не имеющей электрической и магнитной связи с первичной и имеющую магнитную связь через общий магнитопровод со вторичной обмоткой. Схема включения представлена на рисунке 1.

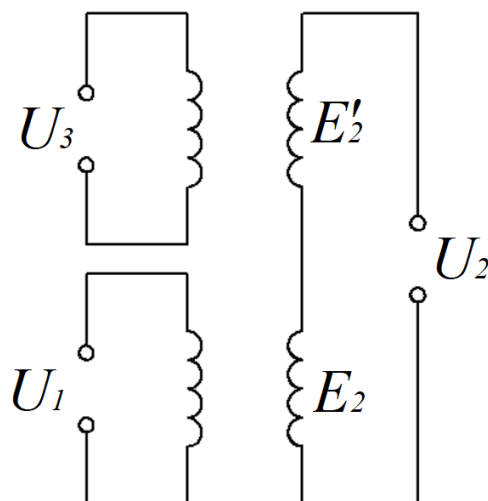


Рисунок 1 – Схема подключения обмоток в трансформаторе

Первичная катушка создает магнитное поле, которое пересекает витки вторичной обмотки и наводит ЭДС E_2 . Дополнительная регулировочная катушка с напряжением U_3 также создает свое магнитное поле, которое пересекает некоторые витки вторичной обмотки и наводя в ней ЭДС E'_2 . Напряжение на концах вторичной обмотки будет равно векторной сумме наводимых в обмотке ЭДС:

$$\vec{U}_2 = \vec{E}_2 + \vec{E}'_2 \quad (1)$$

Напряжение на дополнительной обмотке возможно регулировать при использовании фазорегулятора в качестве источника питания. Поворачивая ротор на некоторый угол относительно статора, вектор напряжения U_3 , и, соответственно, вектор E'_2 , также смещаются на такой же угол. [2] Так как напряжение на вторичной обмотке является векторной суммой, то изменяя направление E'_2 возможно изменять величину напряжения U_2 в пределах:

$$U_2 \in [E_2 - E'_2; E_2 + E'_2] \quad (2)$$

Таким образом, можно сделать вывод о возможности регулирования уровня напряжения с использованием дополнительной обмотки трансформатора. Данное решение способствует снижению риска аварий и повышению долговечности оборудования, что делает его перспективным для его дальнейшего развития и внедрения в системах электроснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ООО СКБ ЭП Обнаружение неисправностей трансформаторов с помощью приборов ООО СКБ ЭП [Текст] / ООО СКБ ЭП // Энергетик. — 2011. — № 3. — С. 52-54.
2. Вольдек, А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. зав. [Текст] / А. И. Вольдек — 3-е изд., перераб.. — Л.: Энергия, 1978 — 832 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ ОСМОТРЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аристов Артём Сергеевич, студент группы Э-21, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: artem.aristov77@ya.ru

Прокопенко Андрей Сергеевич, студент группы Э-21, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: ponamovm@mail.ru

Научный руководитель: Мартко Екатерина Олеговна, доцент, к.т.н., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: Martnight@mail.ru

В статье рассматривается возможность повышения надёжности и качества передачи электроэнергии с помощью использования беспилотных летательных аппаратов при визуальном осмотре линий электропередачи. Описываются преимущества их использования, а также возможное улучшение экономических показателей при внедрении данного оборудования.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), линии электропередачи, визуальный осмотр ЛЭП, повышение надёжности, передача электроэнергии, обслуживание ЛЭП.

Одной из важнейших задач современной энергетики является надёжная и бесперебойная передача электроэнергии, от решения которой зависит работа стратегических предприятий, различных учреждений и жилых домов. Аварии на воздушных линиях электропередачи могут сопровождаться тяжёлыми последствиями. Кроме того, нахождение линии электропередачи в нерабочем состоянии длительный период времени влечет за собой экономические убытки от недоотпуска электроэнергии. Последствия от аварий на воздушных линиях электропередачи представляется возможным минимизировать путём постоянного совершенствования методов контроля состояния линий электропередачи. Одним из перспективных направлений является использование беспилотных летательных аппаратов в качестве средств для мониторинга текущего состояния воздушных линий электропередачи, предотвращения аварий, а также для оперативного осмотра линии в случае аварии на ней. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой современные технические средства, которые могут использоваться для решения различных задач. Они обладают рядом преимуществ, таких как высокая манёвренность, возможность работы в труднодоступных местах и относительно низкая стоимость эксплуатации. Применение их в качестве средств для визуального осмотра линий электропередачи особо актуально в отдалённых районах и районах с тяжёлым рельефом местности [1-2].

В данной статье рассмотрена возможность автономного использования БПЛА для визуального осмотра ВЛЭП. Это позволит повысить надёжность и качество передачи электроэнергии, а также снизить затраты на их обслуживание.

Визуальный осмотр воздушных линий электропередачи является одним из основных методов контроля их состояния, он позволяет выявить повреждения, такие как: обрывы проводов, трещины на изоляторах и другие дефекты. Однако визуальный осмотр может быть затруднён из-за труднодоступности некоторых участков ВЛЭП.

Схема на рисунке 1 показывает, из каких компонентов состоит процесс поиска, обнаружения и возврата оборудования в рабочее состояние в случае возникновения неисправности. После обнаружения наличия неисправности оперативно-выездная бригада едет и осматривает линию, пока не будет найдено проблемное место. Принимая во внимание, что воздушные линии электропередачи в России протяженные, а расстояние между населёнными пунктами часто достигает нескольких десятков километров, то объезд такой линии может занимать много часов. Передвижение бригады может усложняться бездорожьем

и нахождением ВЛЭП на труднодоступных участках (болота, неровности рельефа и т.п.), поэтому нахождение места повреждения может занимать еще больше времени [1].

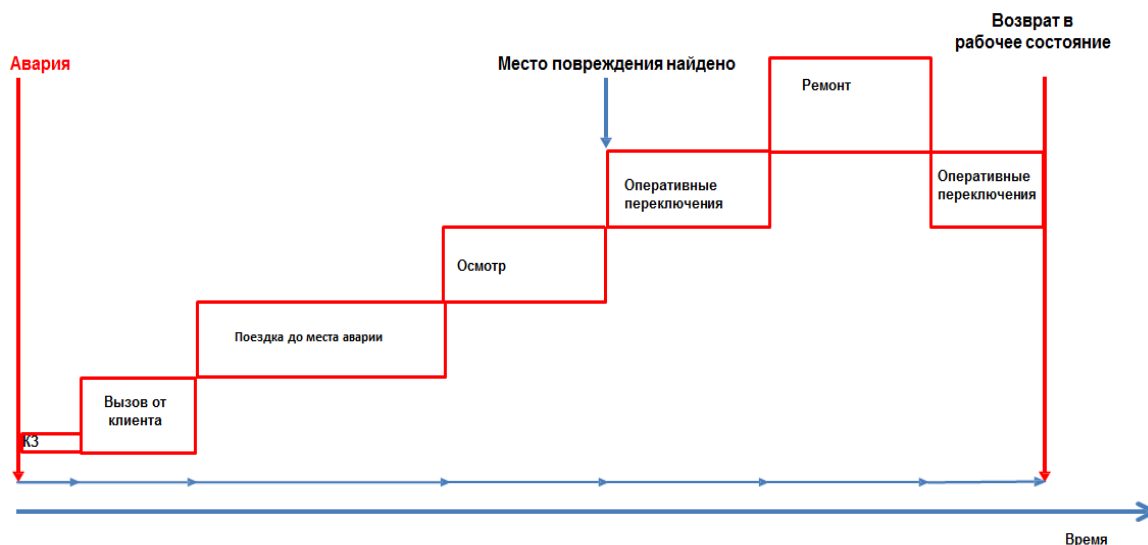


Рисунок 1 – Этапы восстановления работоспособности ЛЭП после аварии [1]

Использование БПЛА позволяет преодолеть эти трудности. Они могут летать на больших высотах и в труднодоступных местах, что позволяет им охватывать не только большие территории, но и места, где невозможно или опасно проводить визуальный осмотр с земли. Кроме того, дроны оснащают камерами, тепловизорами и другими датчиками, которые позволяют получать детальные изображения и данные о состоянии линии. Эти данные могут быть использованы для принятия решений о проведении ремонтных работ. Для улучшения качества визуальных осмотров воздушных линий электропередачи с помощью беспилотных летательных аппаратов, предлагается внедрение их автономного использования, что не требует непосредственного участия человека при осмотре линии. Например, при какой-либо аварии на ВЛЭП, диспетчер, используя специальное программное обеспечение, с ближайшей подстанции отправляет беспилотный летательный аппарат на осмотр линии электропередач, который, в свою очередь, при помощи камер, тепловизора и прочих датчиков составляет полноценную картину о произошедшей аварии, которая, в режиме реального времени поступает диспетчеру. Диспетчер, анализируя все полученные данные с беспилотника, принимает дальнейшие решения о ликвидации аварии.

Таким образом, автономное применение БПЛА имеет ряд преимуществ таких как:

- Повышение безопасности персонала. Визуальный осмотр ВЛЭП может быть опасным, особенно в условиях высокого напряжения. Использование беспилотников позволяет снизить риск несчастных случаев;
- Снижение затрат на обслуживание. Беспилотники являются более экономичным средством для проведения визуального осмотра, чем наземные бригады;
- Увеличение эффективности работы. Появляется возможность выполнять визуальный осмотр быстрее и с большей точностью, чем наземные бригады;

Экономические показатели использования БПЛА зависят от ряда факторов: их стоимость, стоимость обслуживания, топлива и т. д., однако, можно выделить следующие основные преимущества:

- Сокращение затрат на ремонт. Беспилотники позволяют выявлять дефекты воздушных линий электропередачи на ранних стадиях, что позволяет сократить затраты на ремонт в будущем;

- Уменьшение потерь электроэнергии. Дефекты на линиях могут привести к потерям электроэнергии. Использование дронов позволяет своевременно выявлять и устранять эти дефекты, что уменьшает потери электроэнергии;
 - Улучшение качества электроснабжения. Своевременное выявление и устранение дефектов ВЛЭП позволяет улучшить качество электроснабжения потребителей;
- Однако, перспектива автономного применения беспилотников ставит перед нами следующие задачи:

- Разработка программного обеспечения. Программное обеспечение должно быть разработано таким образом, чтобы оно могло автоматически определять маршрут полёта, избегать препятствий и передавать данные о состоянии линии на наземную станцию.
- Обучение персонала. Персонал, работающий с беспилотниками, должен быть обучен работе с программным обеспечением и оборудованием.
- Тестирование и сертификация. Перед вводом в эксплуатацию и началом необходимо провести тестирование и сертификацию оборудования, чтобы убедиться в его безопасности и эффективности.

Таким образом, автономное использование беспилотных летательных аппаратов является перспективным направлением для повышения надёжности и качества передачи электроэнергии. Оно позволяет повысить безопасность персонала, снизить затраты на обслуживание и увеличить эффективность работы энергосетевых компаний. БПЛА обладают рядом преимуществ перед наземными бригадами. Экономические показатели использования дронов также свидетельствуют о эффективности их применения.

Дальнейшие исследования в этой области позволят более точно оценить преимущества использования беспилотных летательных аппаратов и разработать рекомендации по их применению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обследование ВЛ с БПЛА и другие методы контроля и поиска повреждений на воздушных линиях // TEST-energy.ru URL: <https://test-energy.ru/obsledovanie-vl-s-bpla/> (дата обращения: 30.11.2024).

2. Осмотры воздушных линий электропередач // Школа для электрика URL: <http://electricalschool.info/main/vl/2263-osmotry-vozdushnyh-liniy-elektroperedach.html> (дата обращения: 30.11.2024).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Ваулин Егор Павлович, бакалавр группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: vaulinegor2005@gmail.com;

Вастьянов Никита Максимович, бакалавр группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: nikita.vastyanov112@gmail.com;

Карнаков Кирилл Дмитриевич, бакалавр группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail karnakovkirill47@gmail.com

Компанеев Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

С ростом технологий и спроса на устойчивый источник электроэнергии цифровые подстанции являются крайне важным элементом модернизированной сети электроснабжения. Интеллектуальное оборудование цифровых подстанций обеспечивает более эффективное управление электрическими сетями и дополнительно повышает их надежность и безопасность.

Ключевые слова: цифровая подстанция, распределительные системы, автоматическое выполнение процессов, контроль и управление.

Цифровая подстанция — это подстанция, включающая классические компоненты — трансформаторы, выключатели и реле, они заменяются или активно поддерживаются компьютеризированным оборудованием. Цифровые подстанции предназначены для автоматического выполнения процессов, чтобы полноценно проводить мониторинг состояния оборудования и сокращать операционные расходы.

Основные компоненты цифровой подстанции [1]:

Системы защиты и управления- это автоматизированные системы, которые быстро реагируют на нарушения и возможные аварийные ситуации.

Сенсоры и устройства сбора данных-они используют технологии Интернета вещей (IoT) для бесконтактного мониторинга.

Числовые реле-это замена традиционных электромеханических реле, позволяющая реализовать сложные алгоритмы управления.

Системы SCADA-они предназначены для контроля и управления распределенными системами, обеспечивающие мониторинг в реальном времени.

Интеллектуальное оборудование подстанций включает в себя высококачественные сенсоры, системы связи, программное обеспечение для обработки данных и системы поддержки принятия решений.

Например, в устройствах открытого распределительного управления (ОРУ) можно заменить традиционный измерительный трансформатор тока на оптический сенсор FOCS (Fiber Optic Current Sensor). Такой сенсор может быть встроен в колонковый выключатель, объединяя в себе функции разъединителя и заземлителя. Это позволяет уменьшить занимаемую для ОРУ площадь на 50% по сравнению с обычными решениями.

Системы связи обеспечивают проводное и беспроводное соединение между оборудованием, что позволяет передавать данные в реальном времени и за счёт этого повышает безопасность и эффективность системы.

Ряд преимуществ интеллектуального оборудования:

Повышенная надёжность и доступность: возможность самодиагностики цифровых устройств обеспечивает высокую жизнеспособность подстанции.

Оптимизация процессов: анализ, который проводит цифровое оборудование подстанций, обеспечивает мониторинг объема данных, поступающих с фиксированных устройств. Снижение затрат на техническое обслуживание: цифровая подстанция контролирует все операции, происходящие в её оборудовании. Умные системы анализа предлагают рекомендации для обслуживания и ремонта.

Интеллектуальное оборудование цифровых подстанций является важным этапом в эволюции энергетической инфраструктуры. Множество достоинств, в числе которых отметим высокую надежность, эффективность и экономичность, делают такие системы неизменным атрибутом будущих электросетей. Следовательно, внедрение интеллектуальных технологий в цифровые подстанции справедливо рассматривается как незамедлительно необходимое условие достижения устойчивого перехода к новой энергетике, стимулирования долгосрочного развития экономики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Казакова, Е.А. Актуальность применения цифровых подстанций / Е.А. Казакова, И.Н. Зуев, А.В. Щекочихин // Актуальность исследования. – 2021. - № 22(49). – С. 10-13.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПЕЛЛЕТ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

Голубцов Савелий Сергеевич, Алтайский государственный технический университет им.
И.И. Ползунова, e-mail: golubczov_04@mail.ru

Научный руководитель: Соловской Александр Сергеевич, старший преподаватель,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: solovskoyas@mail.ru

Рассматривается возможность использования генераторов, основанных на агрегатах сжигания топливных пеллет, используемых при резервной генерации электроэнергии.

Ключевые слова: топливные пеллеты, системы накопления энергии, резервная генерация, распределённая энергетика, альтернативная энергетика.

В современном мире достигнут высокий уровень качества электрических сетей. Тем не менее, это не исключает чрезвычайные ситуации различного генезиса, которые могут приводить к недоотпуску электрической энергии. Для поддержания стабильного энергоснабжения потребителей, разрабатываются различные системы накопления энергии для резервного питания потребителей. Для этого можно использовать, например, установки, вырабатывающие метаносодержащий энергоноситель. В данной статье рассматривается возможность использования станций генерации, основанных на агрегатах сжигания топливных пеллет [1-2].

Топливные пеллеты— это твердые цилиндрической формы гранулы длиной около 5 см и 6—8 мм в диаметре (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Топливные пеллеты

Пеллеты можно поделить на белые, промышленные, и агропеллеты [1]. Наибольшей теплотворностью обладают белые пеллеты (18-20 МДж/кг) [1]. Три кубических метра пеллет эквивалентны одному кубическому метру нефти. Важная особенность пеллет в том, что при их производстве не используются вредные химические вещества, их производят из обработанных паром, спрессованных древесных опилок. Также можно отметить их низкую зольность (до 4%) [1].

Суммарная оценка объема отходов древесины в России составляет 75-113 млн м³/год [2]. Для изготовления одной тонны пеллет требуется около 2,6 м³ древесных отходов [1]. Потенциально можно получить около 43 миллионов тонн пеллет. Учитывая вышеупомянутую теплотворность, получаем энергетический потенциал в $8 \cdot 10^{14}$ Дж или 222 млн. кВт·ч. Из этого следует, что топливные пеллеты имеют большой потенциал в качестве энергоресурса в нашей стране.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коврик, И. И. Сжигание твердого топлива : практ. пособие / И. И. Коврик. — Минск : ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ, 2021. — ISBN 978-985-6809-92-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/312128> (дата обращения: 03.12.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — С. 12.
2. Марченко, О.В. Возможности использования древесных отходов в энергетике России / О.В. Марченко, С.В. Соломин, А.Н. Козлов // Экология и промышленность России. — 2019. — Т. 23, № 6. — С. 17-21. — DOI 10.18412/1816-0395-2019-6-17-21.

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЦИФРОВОЙ СЕТИ

Загорюк Максим Вячеславович, студент группы Э-24, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: egorplay87@gmail.com

Сидоров Павел Владимирович, студент группы Э-24, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: panteon22rus@yandex.ru

Галушко Павел Андреевич, ведущий инженер ООО «Север», panteon22rus@yandex.ru

Научный руководитель: Васильев Валерий Юрьевич, ст.преподаватель, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: vasilevvy@altgtu.ru

В работе рассмотрена технология волоконно-оптических линий, применяемых для передачи данных, описан принцип их работы и их основные элементы. Приведены преимущества волоконно-оптических линий, а также область их применения.

Ключевые слова: Волоконно-оптические линии, ВОЛС, передача данных между электросетевыми объектами, оптические сигналы, передача данных, внутренне отражение, энергетика, кабельное телевидение, телекоммуникации.

С учетом быстрого развития информационно-коммуникационных технологий и энергетической инфраструктуры, передача данных между электросетевыми объектами становится ключевым аспектом эффективного управления и мониторинга электрических сетей. Одним из наиболее перспективных решений для этой задачи являются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) [1]. Они дают высокоскоростную, надежную и защищенную передачу данных, что способствует интеграции умных сетей и повышению эффективности электрической инфраструктуры.

Принцип работы волоконно-оптических линий связи основан на передаче информации с помощью световых сигналов через оптические волокна. Эта технология использует физические явления, такие как полное внутреннее отражение, что позволяет передавать данные на большие расстояния с высокой скоростью. Рассмотрим этот принцип подробнее. Основные элементы ВОЛС включают следующие компоненты [1-4].

1. Оптическое волокно. Оно состоит из сердцевины и оболочки, обладающих разными показателями преломления, что позволяет свету многократно отражаться внутри сердцевины, минимизируя потери.

2. Передающие и приемные устройства. Модуляторы преобразуют электрические сигналы в оптические, а детекторы — оптические сигналы обратно в электрические.

3. Коммутаторы и маршрутизаторы. Они обеспечивают управление трафиком данных и маршрутизацию информации в сети.

Когда свет попадает из сердцевины в оболочку, он может быть отражен обратно в сердечник, если угол падения превышает критический угол. Этот процесс называется полным внутренним отражением. Благодаря этому принципу свет может распространяться по волокну, даже если оно изгибается или имеет различные формы.

Преимуществами ВОЛС является способность передавать данные на скорости до нескольких гигабит в секунду и более. Это делает их подходящими для высокоскоростной передачи информации, что наиболее важно в условиях увеличения объемов данных. Также волоконно-оптические линии имеют минимальное затухание, что обуславливает передачу сигнала на более длинные (до сотен километров) без необходимости в усилителях. Это снижает затраты на оборудование и обслуживание. ВОЛС не подвержены влиянию электромагнитных полей и радиочастотных помех, что обеспечивает стабильность и надежность передачи данных в условиях, где присутствуют высокие уровни помех. Также волоконно-оптические линии обеспечивают высокий уровень защиты передачи данных, так

как перехват сигнала практически невозможен без физического доступа к волокну. Это особенно важно для организаций, работающих с конфиденциальной информацией.

Однако ВОЛС имеют сложность монтажа и ремонта. Установка и обслуживание ВОЛС требуют специальных навыков и оборудования. Процесс спайки волокон требует высокой точности и может быть трудоемким, что усложняет ремонт в случае повреждения. На больших длинах может потребоваться установка повторителей для компенсации затухания. Это добавляет дополнительные затраты и сложности. Также такая технология имеет температурные ограничения и необходимость в преобразовании сигналов в световые и обратно, что может добавлять задержки и требует наличия дополнительного оборудования.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) находят широкое применение в различных сферах благодаря своим уникальным свойствам, как большая скорость передачи данных, низкие затухания сигнала и устойчивость к внешним воздействиям. В основном они применяются в телекоммуникации, передачи данных, энергетике, кабельном телевидении.

Таким образом, волоконно-оптические линии связи представляют собой высокоэффективную и надежную технологию для передачи данных, что делает их незаменимыми в современных телекоммуникационных системах и энергетической инфраструктуре. Их использование значительно повышает эффективность и надежность электросетей, однако для успешного внедрения необходимо решить существующие проблемы и вызовы. Это обеспечит дальнейшее развитие и оптимизацию электросетей, что будет способствовать устойчивому энергоснабжению в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буров, В. А. Волоконно-оптические системы связи. / В. А. Буров, Н.А. Лейбович // Москва: Энергия. - 2017. – С. 107-110.
2. Сапрыкин, В. А. Основы проектирования и эксплуатации волоконно-оптических линий связи. / В. А. Сапрыкин // Москва: Издательство МГТУ им. Баумана. -2019. – С. 78-79.
3. Виноградов, А. А. Электроснабжение и автоматизация электросетей. / А. А. Виноградов, В. В. Григорьев // Санкт-Петербург: Питер. - 2018. – С. 178-196.
4. Кузнецов, А. Н. Оптоволоконные технологии в системах передачи данных. / А. Н. Кузнецов // Москва: Радио и связь. - 2015. – С. 11-38.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В СЕТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Каграманова Ксения Романовна студент группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kagarmanova04@internet.ru

Вагайцева Варвара Николаевна, студент группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: v_vagaitseva@mail.ru

Кузёма Амина Александровна, студент группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kuzuomaa@yandex.ru

Научный руководитель: Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

Рассмотрена проблема высокого уровня износа оборудования электроснабжающих организаций. Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации предложено внедрение цифровых подстанций, работа которой включает в себя применения метода предиктивного анализа. Данный метод включает в себя работу с Big Data и функционирование нейронных сетей.

Ключевые слова: цифровые подстанции, автоматизация энергосистемы, цифровизация системы электроснабжения, нейросети, беспроводные сети.

На сегодняшний день одной из главных проблем сетевых электроснабжающих организаций является высокий уровень износа электрооборудования. Кроме того, с каждым годом устаревание приобретает накопительный эффект, скорость деградации оборудования нарастает. По официальным данным степень износа электрооборудования в компании ПАО

«Россети Сибирь – Алтайэнерго» составляла 76.4% в 2021 г., 76.71% в 2022 г. и 78.21% в 2023 г [1]. Данный показатель негативно влияет в части такого параметра, как величина потерь в сетях электроснабжения, а также увеличивает частоту возникновения аварийных ситуаций и их тяжесть, что в свою очередь сказывается на продолжительности отключения потребителей от сети. Указанные последствия высокого уровня износа оборудования являются причиной роста тарифа электроэнергии, а также увеличения недоотпуска электроэнергии, то есть прямо или косвенно связаны с увеличением экономических издержек энергокомпаний.

Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года [2] одним из этапов работы в этом направлении является создание условий для разработки и развития цифровых сервисов и решений, а также для распространения опыта внедрения цифровых технологий и отраслевых платформенных решений. Данной задаче соответствует внедрение нового поколения цифровых подстанций на замену устаревших. Под цифровыми подстанциями подразумевают подстанции электроснабжения, оснащенные системами автоматизированного контроля за состоянием электрооборудования. Также их отличительной чертой является наличие более быстрой передачи информации за счет использования волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Их пропускная способность значительно выше классических медных кабелей. Также ВОЛС практически не чувствительны к электромагнитным помехам и не имеют выраженных распределённых электромагнитных эффектов вдоль линии. Системы контроля оборудования подразумевают под собой измерение, передачу и сохранение в собственной памяти различных величин токов, напряжений, частоты и мощности. Данные параметры в полной мере способны отразить в реальном времени работу электрооборудования, линии и самой подстанции, а также отследить динамику самих параметров. Анализируя информацию на основе указанных показателей возможно вовремя выявить аварийные ситуации на том или ином участке сети. При внедрении большого количества подобных подстанций, способных осуществлять и принимать логические автоматизированные решения, появляется возможность организации баз данных, массивы

которых могут использоваться для вычисления вероятности выхода из строя какого-либо оборудования или участка сети. Для этой цели может применяться технология Big Data.

Связь между сильно удалёнными подстанциями и сервером может быть организована беспроводным способом. Проектирование централизованной базы данных (ЦБД) подразумевает использование беспроводных протоколов двунаправленной связи между подстанциями и главным сервером. Также существуют технологии локальной организации такого вида связи. Его можно реализовать на базе беспроводной сети в рамках города – Wireless Metropolitan Area Networks (WMAN). Зафиксированные значения величин сил тока, напряжения, частоты, мощности и других показателей передаются с цифровых подстанций города на главный сервер энергокомпании.

Основываясь на собираемой информации о соответствии показателей и соответствующему им количеству сбоев в работе электросети можно составить статистику и вероятность возникновения аварий при определенных значениях параметров. Такой подход называют предиктивным анализом и на данный момент в сфере электроснабжения он является весьма перспективным для внедрения в различные автоматизированные системы. Для наиболее точного вычисления вероятности также возможно интегрирование нейронных сетей в систему цифровых подстанций, так как на сегодняшний день уровень развития данной технологии позволяет параметризовать зависимости между показателями и реальным состоянием оборудования.

Внедрение данного подхода позволит уменьшить нерациональные вложения в новое оборудование и при этом неисправное оборудование будет своевременно заменено.

Развитие предиктивной аналитики в системе цифровых подстанций и их интеграция в сеть электроснабжения имеет долгосрочную перспективу. С течением времени база данных будет пополняться, и, соответственно, вероятность выхода из строя оборудования, основанная на статистике, будет вычисляться более точно. Это позволит составлять наиболее рациональный график ремонта и замены электрооборудования компаний, тем самым максимально использовать технический потенциал электрооборудования, при этом уменьшив затраты на проведение аварийно-ремонтных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Информация о качестве обслуживания потребителей услуг ПАО «Россети Сибирь» за 2023 год / [Электронный ресурс] // Россети - Сибирь : [сайт]. — URL: <https://www.rosseti-sib.ru/raskritie-informatsii/raskrytie-informatsii-setevoy-organizatsiey/informatsiya-o-kachestve-obsluzhivaniya-potrebitелей-uslug/> (дата обращения: 01.12.2024).

2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р // Правительство Российской Федерации официальный сайт. – 2020.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Кальсина Юлия Викторовна, студентка гр. Э-14, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова», e-mail: yuliya-kalsina@mail.ru

Научный руководитель: Грибанов Алексей Александрович, к.т.н, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова», e-mail: diread@mail.ru

Силовые трансформаторы являются важными компонентами электросетей, и их отказы могут привести к серьезным сбоям. Традиционные методы мониторинга и диагностики часто неэффективны, поэтому предлагается использовать цифровые двойники для прогнозирования скрытых дефектов. Разработка цифрового двойника повышает надежность, эффективность и безопасность электросетей, обеспечивая мониторинг и автоматизированную диагностику в режиме реального времени.

Ключевые слова: силовой трансформатор, цифровой двойник, искусственный интеллект, диагностика, мониторинг.

Силовые трансформаторы являются критически важными компонентами электрических сетей, и их отказы могут привести к серьезным сбоям и финансовым потерям. При этом традиционные методы мониторинга и диагностики трансформаторов часто неэффективны и не позволяют своевременно обнаруживать аварийные режимы.

Так по статистике наиболее распространёнными причинами отказов силовых трансформаторов является изменения свойств конструкционных материалов и дефекты конструкции при изготовлении (рисунок 1).



Рисунок 1 – Причины отказов в процентах

Большинство из представленных причин можно избежать, внедрив на подстанции, цифровые двойники силовых трансформаторов, которые могли бы предсказывать сложно-выявляемые дефекты, которые с помощью традиционной диагностики распознать нельзя [1].

Цифровой двойник - это виртуальная копия физического актива, которая может использоваться для моделирования его поведения и прогнозирования его состояния. Цифровой двойник силового трансформатора может быть использован для непрерывного

мониторинга его состояния, обнаружения отклонений от нормальной работы и прогнозирования возможных аварийных режимов.

Предлагаемый проект направлен на разработку цифрового двойника силового трансформатора, который будет использовать данные с датчиков, установленных на трансформаторе, а также исторические данные и физические модели для создания виртуальной копии трансформатора. Цифровой двойник будет использоваться для распознавания аварийных режимов, таких как перегрев, перегрузка и внутренние неисправности.

Целью данного исследования является повышение надежности, эффективности и безопасности электросетей за счет разработки и внедрения цифрового двойника силового трансформатора, который позволит осуществлять мониторинг и автоматизированную диагностику в режиме реального времени.

Для достижения этой цели были поставлены следующие основные задачи [2]:

1. Разработка цифрового двойника.
2. Интеграция с датчиками и устройствами IoT.
3. Разработка алгоритмов ИИ и МО.
4. Создание интерактивных панелей управления и графиков.
5. Интеграция с существующими системами.
6. Испытания и валидация.

Таким образом, выполнение данных задач позволит разработать цифровой двойник силового трансформатора для мониторинга и автоматизированной диагностики в режиме реального времени.

В выпускной квалификационной работе объектом исследования является силовой трансформатор, как основная часть станций и подстанций.

Научная новизна проекта заключается в использовании передовых методов машинного обучения для автоматизированной диагностики, что повышает точность и своевременность обнаружения проблем, обеспечивая более эффективное и надежное управление активами.

Разработка цифрового двойника силового трансформатора, так же обеспечивает значительную практическую ценность для электроэнергетической отрасли. Во-первых, он позволяет осуществлять непрерывный мониторинг состояния трансформатора в режиме реального времени, что позволяет операторам выявлять потенциальные проблемы на ранней стадии и предотвращать катастрофические отказы. Это повышает надежность и доступность электроснабжения, снижая риски перебоев и дорогостоящего ремонта.

Во-вторых, цифровой двойник позволяет проводить автоматизированную диагностику, используя данные мониторинга и передовые алгоритмы машинного обучения. Это помогает операторам быстро и точно определять причины неисправностей, сокращая время простоя и затраты на техническое обслуживание. Кроме того, цифровой двойник может использоваться для оптимизации работы трансформатора, прогнозирования срока службы и планирования профилактического обслуживания, что приводит к повышению эффективности и снижению эксплуатационных расходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левин В.М. Диагностика и эксплуатация оборудования электрических сетей. НГТУ – 311 с.
2. Семенова К.В., Тихонов А.И., Подобный А.В. Разработка цифровых двойников распределительных трансформаторов для оценки пожарной опасности трансформаторных подстанций / Современные пожаробезопасные материалы и технологии, сборник материалов IV международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново, 202, ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, 2020. – С. 268 – 271

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОЛОГИЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДСИСТЕМ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Коверник Данил Дмитриевич, бакалавр группы Э-23, e-mail: kovernik.danil@mail.ru
Гребенщиков Даниил Святославович, бакалавр группы Э-23, e-mail: sdplay04s@gmail.com
Сердюцких Михаил Константинович, электромонтер 5 разряда по РЗиА АО «СГК-Алтай»
филиал «Барнаульская ТЭЦ-3», sdplay04s@gmail.com

Научный руководитель: Нефедов Сергей Федорович, к.т.н., e-mail: nfdv@inbox.ru
Алтайский государственный университет имени И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

Данная статья посвящена анализу эффективности методологии GBDT в сравнении с рядом других конкурирующих технологий. На основании экспериментальных данных показываются преимущества методологии для применения в целях диагностики подсистем цифровых подстанций. Дается оценка перспективам цифровизации в сфере электроэнергетики в России. Предлагается использовать методологию GBDT в рамках замкнутой системы электроснабжения.

Ключевые слова: GBDT, диагностика неисправностей, экспериментальные данные, деревья решений с градиентным усилением, сравнение методологий.

Использование цифровых технологий для повышения эффективности работы и надежности систем электроснабжения на сегодняшний день становится одной из передовых задач в сфере электроэнергетики. Конкретные решения в данной области могли бы существенно помочь энергокомпаниям. Диагностика подсистем цифровой подстанции имеет ключевую роль в поддержании её работоспособности и предотвращении сбоев [1]. Целью исследования, которому посвящена настоящая статья, являются системы диагностики цифровых подстанций и, в частности, методология GBDT («Gradient Boosted Decision Trees» – «Деревья решений с градиентным усилением»), как самая перспективная существующая система диагностики на сегодняшний день [2-3].

Система диагностики GBDT – алгоритм, сочетающий в себе анализ графиков, метрик, поведения моделей и обучающую выборку. Используя интегрированную информацию об аварийных сигналах, данные самопроверки устройств и сигналы GOOSE/SV, система формирует наиболее вероятные прогнозы. Система опирается на GOOSE (Generic Object – Oriented Substation Event) – протокол для быстрой передачи данных о событиях между интеллектуальными электронными устройствами по локальной вычислительной сети. Также необходимо упомянуть SV, который имеет важнейшее значение в работе GBDT. SV (Sampled Values) – протокол для передачи оцифрованных мгновенных значений аналоговых величин.

Система классифицирует неисправности на простые и сложные, таким образом, повышая точность, скорость диагностики. Метод обучения алгоритма GBDT основан на наборе образцов неисправностей системы защиты. При этом 75% образцов используются в качестве обучающего набора, а 25% – в качестве тестового набора.

Взяв в качестве показателя оптимизации диагностическую точность тестового набора образцов, оптимизируем модель, регулируя быстроту обучения σ и объём выборки M , так как данные параметры имеют наибольшее влияние на точность модели. Результаты обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Диагностическая точность GBDT при различных параметрах.

$\sigma \backslash M$	0,05	0,1	0,3	0,5	0,7	1
10	0,97619	0,98333	0,98095	0,98095	0,97857	0,97381
30	0,97857	0,99048	0,98333	0,98095	0,97857	0,97142
50	0,997619	0,98809	0,98571	0,98333	0,97857	0,97381
70	0,97619	0,98809	0,98809	0,98333	0,98095	0,97619
100	0,97619	0,98571	0,98571	0,98571	0,98095	0,97857

Исходя из данных таблицы 1 можно увидеть высокую точность модели GBDT для диагностики неисправностей в системе защиты. При объёме выборки 30 образцов и коэффициенте скорости обучения 0,1 точность достигает 99,048.

Результаты диагностики при $M = 30$, $\sigma = 0,1$ представлены в таблице 2.

Таблица 2. Диагностическая точность GBDT при различных параметрах.

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}
Количество образцов	35	37	35	34	35	35	35	35	35	35	34	35
Количество правильных диагнозов	35	37	34	33	35	34	34	35	35	35	34	35

Результаты сравнения с существующими методами исследования, такими как RNN и RF представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты диагностики тестового набора при $M = 30$, $\sigma = 0,1$.

Модель	Точность диагностики
GBDT	0,9905
RNN	0,9871
RF	0,9609

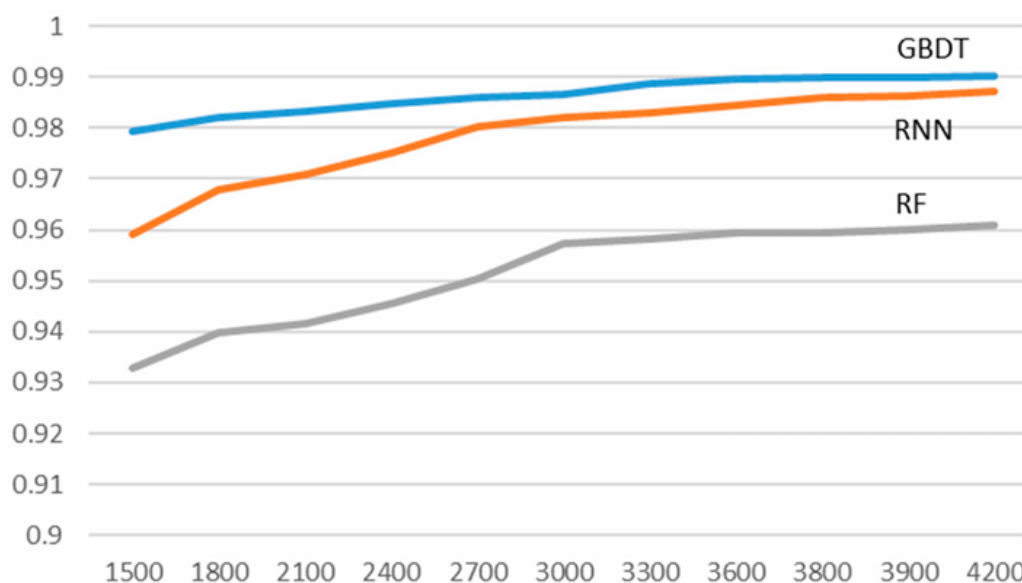


Рисунок 1 – Точность моделей с различными выборками обучающего набора

Благодаря продемонстрированной в результате эксперимента отличной производительности на малых наборах образцов, а также малому количеству итераций при обучении, более высокой скорости работы и процесса обучения, мы можем сделать вывод, что алгоритм GBDT имеет самую высокую точность в сравнении с другими алгоритмами типа RNN (Recurrent Neural Network – рекуррентная нейронная сеть) и RF (Random Forest – алгоритм «случайный лес»).

Однако традиционные модели GBDT не учитывают временные зависимости входных данных, что может ограничить их прогностическую эффективность. Для решения этой проблемы были предложены подходы со «скользящим окном» для включения временных зависимостей в модели GBDT.

SW («Sliding Window» – «скользящее окно») GBDT представляет собой технику применения моделей градиентного усиления GBDT, для задач прогнозирования временных рядов. Это достигается за счет использования концепции скользящего окна для структурирования данных. Основная функция этой техники заключается в преобразовании последовательных данных временных рядов в формат, пригодный для использования с моделями на основе GBDT путём сегментации данных временного ряда, который по своей сути является последовательным, на перекрывающиеся «окна» фиксированного размера.

В рамках нашей научной работы мы предлагаем внедрить алгоритм GBDT в совокупности с методом «SW». Алгоритм направлен на диагностику и прогнозирование проблем, связанных с передачей, потреблением электроэнергии и возникновением аварийных ситуаций, таких как экстренный выход из строя оборудования, возгорание на объектах электроснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цифровая сеть, Инженерный центр «Энергосервис» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://enip2.ru/solutions/digital/grid/> (дата обращения: 05.12.2024).

2. Fault Diagnosis Method of Intelligent Substation Protection System Based on Gradient Boosting Decision Tree, Научная социальная сеть «ResearchGate» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/363375483_Fault_Diagnosis_Method_of_Intelligent_Substation_Protection_System_Based_on_Gradient_Boosting_Decision_Tree (дата обращения: 21.11.2024).

3. Sliding Window GBDT for Electricity Demand Forecasting, Научная социальная сеть «ResearchGate» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/372765436_Sliding_Window_GBDT_for_Electricity_Demand_Forecasting (дата обращения: 23.11.2024).

РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 6/0,4 КВ И 10/0,4 КВ

Конев Евгений Максимович, магистрант группы 8Э-32, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: konev_em@mail.ru
Компанеев Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова более двух лет ведётся работа над созданием системы мониторинга состояния маслонаполненного оборудования с применением цифровых технологий. Разработка новых технических решений в данном направлении является актуальной так как на рынке электротехнической продукции нет бюджетных решений модернизации электроустановок распределительных сетей. В данной статье описано техническое решение, позволяющее оценивать состояние маслонаполненного трансформатора с применением температурных датчиков, трансформаторов тока, ёмкостного датчика приближения, стационарного мультиметра и программируемого реле.

Ключевые слова: маслонаполненное оборудование, непрерывный контроль состояния, трансформаторное масло, ёмкостный датчик приближения, нагрев электроустановок, модернизация, действующие электроустановки.

В настоящее время цифровизация и автоматизация электросетевого комплекса России вышли на совершенно новый уровень. Современные терминалы защит, контроллеры, системы мониторинга, диагностики, управления и защит позволили существенно повысить надёжность и безопасность работы всей единой системы. Всё большее количество производителей выходят на рынок с новыми предложениями и технологиями. Такое развитие позволяет всё стремительней модернизировать электрические сети, подстанции и отдельные электроустановки. Но для модернизации существующих электроустановок напряжением 6-10 кВ такие технические решения зачастую не подходят из-за высокой себестоимости. А ведь сети именно данного класса напряжения имеют самую большую протяженность и самый большой износ. Поэтому разработка новых методов и технических решений по модернизации электроустановок напряжением 10-6/0,4 кВ является наиболее актуальной.

На базе АлтГТУ была разработана система комплексной оценки состояния маслонаполненных трансформаторов. Работы над созданием единой системы велись на протяжении нескольких лет. Изначально, был разработан метод диагностики маслонаполненных электроустановок на базе ёмкостного датчика приближения. Уже после проведения экспериментов и опытов к данному методу был добавлен метод оценки нагрева трансформатора. В совокупности данные методы позволяют осуществлять непрерывный, дистанционный контроль заданных параметров трансформатора и комплексно оценивать общее состояние электроустановки.

Основой системы является программируемое реле. В качестве головного устройства системы было выбрано программируемое реле фирмы ОВЕН, модель ПР200. Данная модель имеет экран и органы управления, что позволит производить наладку оборудования без ноутбука, дискретные и аналоговые входы, релейные выходы NO и поддерживает интерфейс RS485. Именно этот прибор собирает в себе все исходные данные, обрабатывает их в реальном времени и в соответствии с программой выдаёт управляющие сигналы. ПР200 может управлять локальной системой оповещения персонала, управлять системами автоматики электроустановки или выдавать сигнал в диспетчерский центр.

Диагностику состояния электроустановки, проводимую данной системой, можно разделить на два метода: метод оценки состояния трансформаторного масла и метод оценки степени нагрева трансформатора.

Оценка состояния трансформаторного масла производится за счёт установки ёмкостного датчика приближения в крышку бака трансформатора и датчика температуры. Изначально, была выведена теория о том, что состояние трансформаторного масла можно оценить, измеряя его диэлектрическую проницаемость [1]. Способ измерения был предложен косвенный. Как известно, электрическая ёмкость плоского конденсатора пропорционально зависит от диэлектрической проницаемости среды, находящейся между его обкладками. Ёмкостный датчик приближения представляет собой развёрнутый плоский конденсатор, обкладки которого находятся на одной плоскости. Таким образом, при помещении датчика в бак трансформатора получается, что среда между обкладками конденсатора – это трансформаторное масло. Соответственно, площадь обкладок и расстояние между ними изменяться не может, а может изменяться только диэлектрическая проницаемость масла. Изменение данного параметра происходит из-за процессов загрязнения, окисления, старения, увлажнения масла, при каких-либо дефектах в конструкции трансформатора или неисправностях и поломках в элементах электроустановки, а также при нагреве масла. Значит, фиксируя срабатывания датчика и температуру трансформатора в момент срабатывания можно выявить ухудшение состояния трансформаторного масла [2-3].

Оценка степени нагрева трансформатора производится с помощью трёх датчиков температуры, трансформаторов тока, мультиметра и того же ПР200. Датчики температуры устанавливаются в наиболее нагретой точки, наиболее охлаждённой точке и в помещении, в котором размещён трансформатор, для измерения температуры воздуха. Ток нагрузки и другие электрические параметры измеряются с помощью трансформаторов тока и мультиметра и передаются по интерфейсу RS485 в ПР200. Метод диагностики основан на том, что трансформатор, при прохождении тока нагрузки нагревается до определённого фиксированного значения, но если в трансформаторе есть какой-либо дефект или неисправность, то степень нагрева будет значительно выше. Измеряя и анализируя зависимость нагрева трансформатора от тока, вызывающего данный нагрев, можно судить о состоянии трансформатора. Данный метод позволит не только выявлять повышенный нагрев, при прохождении тока, но и выявлять ухудшение циркуляции масла в баке, либо ухудшение состояния масла.

В комплексе все приведённые ранее устройства образуют единую систему мониторинга состояния маслонаполненного трансформатора. Так как система работает в непрерывном режиме, то можно оценивать не только единичные данные замеров, а именно динамику изменения измеряемой величины. Это позволяет выявлять развитие поломок и неисправностей на ранних стадиях, когда электроустановку ещё можно вывести в ремонт и не допустить развития аварии. Так как ПР200 позволяет свободно программировать и настраивать работу системы, то на выходе из прибора может быть простой сигнал оперативному персоналу, будь то включение sireны или лампы, или выдача сигнала в автоматическую систему управления по различным интерфейсам. Также, на базе ПР200 можно реализовать передачу данных на облачный сервер по WI-FI, Ethernet или GSM.

Важно заметить, что все компоненты системы производятся на территории Российской Федерации и нет необходимости покупки импортных приборов. Цена на все элементы системы варьируется в пределах от 70 до 50 тысяч рублей. При этом, установка системы может производиться как на новое оборудование, только вводимое в эксплуатацию, так и на электроустановки, которые находятся в работе уже не один десяток лет.

Таким образом, разработанная система позволит совсем по-другому подойти к диагностике и мониторингу состояния электроустановок напряжением 10-6-0,4 кВ. Возможность отслеживать и анализировать изменения в показаниях приборов даёт возможность предотвращать развитие аварий, тем самым повышая надёжность электроснабжения, увеличивая безопасность труда, а также снижая расходы компаний, на покупку нового, вышедшего из строя, разрушенного оборудования. Ведь, как известно, даже капитальный ремонт электроустановки обойдётся дешевле, чем её полная замена. Для

дальнейшего развития темы работы необходимо проведение опытов, направленных на изучение особенности нагрева трансформаторов различных моделей, при различной степени износа и приведение результатов к единой системе. При формировании и построении зависимостей, необходимо будет написать программу для программируемого реле, которая будет обрабатывать входящие сигналы и анализируя их принимать решения о состоянии электроустановки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Началась модернизация крупного центра питания Поволжья, участвующего в выдаче мощности Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС // РОССЕТИ. 2023. URL: <https://www.rosseti.ru/sustainable-development/news/nachalas-modernizatsiya-krupnogo-tsentra-pitaniya-povolzhya-uchastvuyushchego-v-vydache-moshchnosti/> (05.12.2024).

2. Конев, Е. М. Непрерывный контроль состояния маслонеполненного оборудования / Е. М. Конев, Б. С. Компанец // Ползуновский альманах. – 2023. – № 2-2. – С. 95-97.

3. Руководство по эксплуатации: ПР200. Устройство управляющее многофункциональное // OWEN. 2023. URL: https://owen.ru/downloads/re_pr200.pdf (05.12.2024).

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ АКТИВНО- АДАПТИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ГРУППЫ КОМПАНИЙ «РОССЕТИ»

Коноплев Никита Евгеньевич, диспетчер ОДГ Пригородного РЭС , ПАО «Россети Сибирь» – «Алтайэнерго», e-mail: nikita_konoplev_e51@mail.ru

Научный руководитель: Компанец Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

Обеспечение каждого потребителя электроэнергией надлежащего качества является основной задачей любой электросетевой компании, особенно такой крупной как холдинг «Россети». Отклонение напряжения – важнейший параметр качества электрической энергии, для обеспечения которого применяются устройства регулирования напряжения. Используемые в настоящее время автоматические регуляторы коэффициента трансформации морально и технически устарели, поэтому требуется разработка и внедрение современных систем активно-адаптированного регулирования напряжения в распределительных сетях.

Ключевые слова: регулирование напряжения, электрические сети, центр питания, отклонение напряжения, качество электроэнергии.

Регулирование уровня напряжения в электрических сетях и обеспечение надлежащего качества электроэнергии тесно связаны между собой. Одним из главных параметров качества электроэнергии является отклонение напряжения у потребителей. Согласно ГОСТ 32144-2013 оно составляет $\pm 10\%$, однако даже с таким диапазоном поддерживать требуемое напряжение бывает затруднительно. Это связано с динамически изменяющимся потреблением активной и реактивной мощности, наличием большого количества потребителей, высокой протяженностью электрических сетей. Так, например, один из крупнейших в мире электросетевых холдингов «Россети» имеет в управлении 2,5 млн. км линий электропередачи [1].

Для поддержания требуемого уровня напряжения в распределительных электрических сетях 6-10 кВ повсеместно применяются силовые питающие трансформаторы, оснащенные устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Данные устройства позволяют осуществлять дискретное регулирование напряжения в достаточно большом диапазоне, без отключения трансформатора от сети. Управление устройствами РПН осуществляется специальными автоматическими регуляторами коэффициента трансформации (АРКТ). Данные устройства работают по принципу токовой компенсации и выбирают отпайку РПН основываясь на уровне тока, протекающего через трансформатор и заранее заданном сопротивлении электрической сети. При повышении уровня нагрузки возрастает ток, увеличивается величина потерь напряжения и устройство АРКТ подает сигнал РПН на увеличение напряжения на секции шин подстанции. Несмотря на то, что данные устройства регулирования напряжения являются простыми и надежными, они имеют следующие недостатки:

- не учитываются фактические уровни напряжения в распределительной сети;
- не учитывается неоднородность нагрузок в распределительной сети;
- отсутствует обратная связь с потребителем электроэнергии;
- при работе устройство АРНТ не учитывает ресурс работы РПН, что вызывает его быстрый износ.

Таким образом, в настоящее время необходима разработка и внедрение устройств активно-адаптивного регулирования напряжения (ААРН).

Принцип работы ААРН состоит в получении информации об уровне напряжений и нагрузок у потребителей электрической энергии, обработке этой информации и выдаче

управляющего воздействия устройству РПН трансформатора для обеспечения требуемого качества электроэнергии и обеспечения наиболее экономичного режима работы сети с точки зрения потерь электроэнергии [2].

Схема включения устройства ААРН в разветвленную распределительную сеть представлена на рисунке 1.

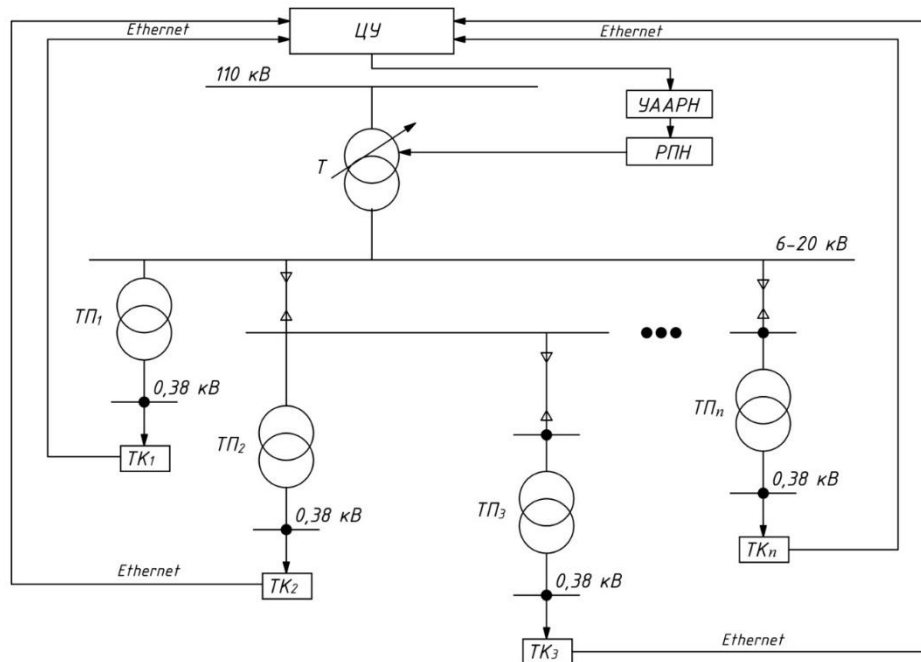


Рисунок 1 – Схема включения устройства ААРН в разветвленную распределительную сеть

Представленная система ААРН состоит из:

- точки контроля (ТК) – устройства автоматизированной информационно измерительной системы контроля учета электроэнергии (АИСКУЭ), производящие непрерывные измерения уровня напряжения;

- центр управления (ЦУ), который на основании данных, полученных от ТК принимает решение о переключении устройства РПН. Первостепенной задачей данного устройства является выбор уровня напряжения, соответствующего ГОСТ-32144-2013 у всех потребителей, однако при выборе напряжения может также приниматься в расчет величина потерь электроэнергии для выбранного режима работы электрической сети [3];

- устройство активно-адаптивного регулирования напряжением (УААРН), которое осуществляет выдачу дискретного управляющего сигнала микропроцессорному терминалу управления РПН трансформатора.

Внедрение устройств ААРН в группе компаний «Россети» не потребует значительных материальных затрат, поскольку большое количество ТП уже оборудовано устройствами АИСКУЭ, а на подстанциях установлены микропроцессорные устройства управления РПН. В качестве примера рассмотрим оснащённость ТП 6-10 кВ системами АИСКУЭЭ на примере Пригородного РЭС филиала ПАО «Россети Сибирь» – «Алтайэнерго». В данном районе электрических сетей на балансе находится 632 ТП 6-10 кВ, 187 из которых оснащены различными системами АИСКУЭЭ (таблица 1).

Таблица 1 – Типы установленных систем АИСКУЭЭ в Пригородном РЭС

Система АИСКУЭЭ	Матрица	РИМ	Лендис	Энергомера	Миртек	МИР
Количество ТП	80	9	27	26	16	29

Данные системы для передачи данных используют технологии GSM/GPRS/3G. Помимо передачи потребленной активной и реактивной мощности данные системы собирают и передают измерения мгновенной мощности, силы тока, напряжения и прочих параметров сети, что позволяет адаптировать их для использования в составе ААРН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Компания ПАО «Россети» // Россети : [официальный сайт]. – 2024. – URL: <https://www.rosseti.ru/company/> (дата обращения: 05.11.24).
2. Алешин, С.В. Применение системы с распределенной архитектурой сбора и обработки информации в задачах активно-адаптивного управления напряжением в распределительных электрических сетях / С. В. Алешин, А. С. Ванин, Р. Р. Насыров [и др.] // Электротехника. – 2016. – № 8. – С. 23-28.
3. Коноплев, Н. Е. Снижение потерь электроэнергии на участке сети путем оптимизации уровня напряжения методом штрафных функций / Н. Е. Коноплев, Б. С. Компанеец // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 48. – С. 50-71. – DOI 10.15593/2224-9397/2023.4.03.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ ТРУДНОДОСТУПНЫХ И УДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Корнилов Никита Максимович, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, e-mail: gurskaya979@gmail.com

Кузьмин Денис Евгеньевич, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, e-mail: critical.buffalo200@mail.ru

Научный руководитель: Соловской Александр Сергеевич, старший преподаватель,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: solovskoyas@mail.ru

Разработан и создан действующий макет (прототип) «ВетроГидроГенератора», работающего в автономном режиме, возможностями LEGO® Education Mindstorms EV3. Представленная установка дает возможность оптимизировать получение доступной электроэнергии, путем замены аналогичных дорогостоящих и топливозатратных дизельных генераторов.

Ключевые слова: гидроветрогенератор, автономное электропитание, СЭС, возобновляемые источники энергии, ВИЭ, ВЭС.

В современном мире проблемы, связанные с изучением разнообразия чистой энергии и возможностью ее применения, имеют важное значение для человечества. Одно из наиболее неблагоприятных последствий на протяжении исторического развития человека и его хозяйственной деятельности является катастрофически быстрое сокращение природных запасов для получения и использования электроэнергии, что наводит на мысль о нахождении альтернативы [1-2]. В связи с этим, актуальным вопросом остается возможность оптимизировать получение доступной электроэнергии, путем замены аналогичных дорогостоящих и топливозатратных дизельных генераторов. идея, заложенная в основу работы, состоит в дублировании источников движущей силы генератора и может быть использована в качестве прототипа при работе над вопросом автономного электропитания в Приполярных районах [1].

Можно с уверенностью сказать, что несмотря на то, что чистую энергию уже активно используют, дальнейшее развитие и совершенствование не заставят себя ждать. Нетрадиционные экологически чистые источники энергии набирают популярность в современном мире. Выделяют несколько источников экологически чистой энергии – биомасса, водород, солнце, ветер, вода [2].

Известные альтернативные источники электрической энергии характеризуется как с положительной, так и с отрицательной стороны. В работе рассматривается использования в труднодоступных Приполярных районах. Наиболее приемлемыми для Приполярных районов будут два источника экологически чистой энергии: вода и ветер. Однако отдельное их использование может быть нерентабельным. При равных возможностях речь пойдет не о замене одного вида энергии на другой, а о возможности получения энергии тем или иным способом при отсутствии обычных методов [2, 5].

Ветроэнергетика является перспективным направлением в области энергетики, которое может способствовать снижению выбросов углекислого газа и обеспечению энергетической безопасности. При этом, ветроэнергетика продолжает развиваться и совершенствоваться. Новые технологии позволяют повышать эффективность и снижать стоимость ветроэнергетических установок. Это делает их более привлекательными для использования в разных сферах деятельности [2-4].

Солнечная энергетика имеет большой потенциал для развития и может стать важным источником энергии в будущем. Она может помочь снизить зависимость от ископаемых видов топлива, уменьшить выбросы парниковых газов и создать новые рабочие места. Однако для её успешного развития необходимо решить ряд технических, экономических и экологических проблем [2].

Принцип работы разработанного макета «ВетроГидроГенератора» заключается в

следующем. Макет сконструирован на основе ветряной мельницы в сочетании с гидротурбиной в основании. На поверхности воды конструкция держится с помощью поплавков. Вся механическая энергия шестерённым соединением от гидротурбины передаётся к генератору, на одном из этапов соединяясь тем же способом с ветряной мельницей. Гидротурбина приходит в движение за счёт водяного течения, в то время как ветряная мельница движется за счёт сильных потоков воздуха. Всё это в сочетании или по отдельности вырабатывает электроэнергию, преобразовывающуюся с помощью электрогенератора. На рисунке 1 представлена модель для изготовления ротора на 3D-принтере.

Развитие человеческого общества и научно-технического прогресса всё более усиливает последствия антропогенного влияния на природные сообщества и их видовое богатство [2]. Поэтому изучение разнообразия экологически чистой энергии и возможности ее применения, является важной задачей современности, стоящей перед человечеством. При этом при целеустремленности и амбициозности можно достичь энергонезависимости региона с использованием чистой энергии. Преимущества использования возобновляемых источников энергии связаны с экологией, воспроизводимостью (неисчерпаемостью) ресурсов, а также с возможностями получения энергии в труднодоступных местах проживания населения [2, 5].

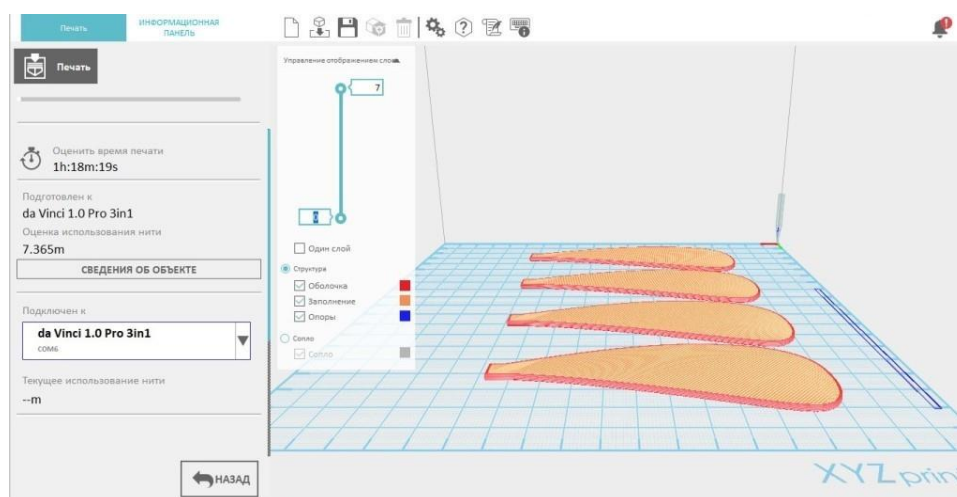


Рисунок 1 - Изготовление ротора на 3D-принтере

Таким образом, предложенный макет устройства может быть использован в качестве прототипа при работе над вопросом автономного электропитания в Приполярных районах. В перспективе существует возможность усовершенствовать устройство, добавив функцию накопления и распределения энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. PlusiMinusi.ru: науч. электрон. журн.: сайт. Москва, 2016. URL: <https://plusimini.ru/plyusy-i-minusy-biotopliva-kak-istochnika-energii/> (дата обращения: 04.11.2024).
2. PlusiMinusi.ru: науч. электрон. журн.: сайт. Москва, 2017. URL: <https://plusimini.ru/vodorodnaya-energetika-ee-plyusy-i-minusy/> (дата обращения: 04.11.2024).
3. Васильев, В. Ю. Принципы расширенного микроклиматического прогнозирования состояния ветровых энергоресурсов в АПК / В. Ю. Васильев, Е. В. Титов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 7(237). – С. 103-107. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-237-7-103-107.
4. Васильев, В. Ю. Обоснование развития подходов к расчету ветроэнергетических установок / В. Ю. Васильев, Е. В. Титов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 8(238). – С. 107-110. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-238-8-107-110.
5. Energo.house.html: науч. электрон. журн.: сайт. Москва, 2021. URL: <https://energo.house/veter/energiya-vetra.html> (дата обращения: 04.11.2024).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Кочешкова Александра Максимовна, студент группы 8Э-31, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: aleksandra.k01@yandex.ru
Алексей Александрович Грибанов, к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: diread@mail.ru

Статья посвящена проблеме обеспечения нормируемого уровня напряжения в распределительных сетях. Рассмотрены существующие подходы и связанная с ними группа проблем для решения задачи контроля уровня напряжения как у промышленных предприятий, так и у низковольтных потребителей. Предложен с необходимыми комментариями комплексный подход к решению задачи контроля уровня напряжения, основанный на разнице типов нагрузки у различных потребителей.

Ключевые слова: нормируемый уровень напряжения, компенсация реактивной мощности, распределительная сеть, конденсаторные батареи.

Современное оборудование энергокомпаний в значительной степени модернизировано. Широко внедряются электронные информационные системы и системы управления, системы связи. Перспективы развития и оснащения в современной энергетике очень обширны. Вместе с тем проблема контроля нормируемого уровня напряжения сохраняется и на сегодняшний день. При этом необходимо отметить, что современные сети электроснабжения всё-таки нуждаются в модернизации, обслуживании и замене устаревшего оборудования, и это требует значительных финансовых вложений. Работа в данной области может проводиться несколькими различными путями, но во главе угла решения большинства возникающих задач лежат подходы и методы контроля уровня напряжения в распределительных сетях.

Большинство современных методов опираются на компьютеризацию и аналитические алгоритмы. Однако, помимо электроники в решении таких задач в первую очередь следует ориентироваться на фундаментальные физические процессы и стремиться заложить с этой точки зрения максимально простые принципы в аппаратную часть предлагаемых решений. Методы контроля, построенные на таких принципах, имеют максимальную надёжность. А компьютеризированные системы при всех своих многочисленных преимуществах имеют существенный недостаток: алгоритмическую сложность, увеличивающую вероятность сбоя систем обеспечения нормируемого уровня напряжения в распределительных сетях.

Проблемы поддержания уровня напряжения в системе электроснабжения во многом обусловлены характером нагрузки. Промышленные предприятия используют большое количество мощных электрических машин. Потребление реактивной мощности даёт вклад в величину тока, который можно компенсировать ёмкостным эффектом. Отрицательный сдвиг фазы тока относительно напряжения сети не только увеличивает значение тока на индуктивную составляющую, но и, снижая потенциал на стороне потребителя, фактически нередко приводит к падению напряжения ниже допустимых нормативов. Коммутационные явления при ёмкостной компенсации протекают более мягко, однако не следует забывать, что важен контроль фазы тока для оценки возможности применения такой компенсации. Индуктивная компенсация в целом не требуется, так как полностью поддерживается за счёт энергии, накопленной за счёт работы обмоток питающих трансформаторов.

На предприятиях используются конденсаторные батареи, основное назначение которых состоит как раз в компенсации реактивной энергии. Это позволяет зачастую повысить коэффициент мощности на 15% [1]. Важно отметить, что задачи обеспечения нормируемого уровня напряжения в распределительных сетях на стороне потребителя и задачи поперечной компенсации реактивной мощности сопутствующие, то есть решаются одновременно.

У большинства потребителей, очень чувствительных к уровню напряжения в сети cosφ близок к единице, то есть ёмкостный ток будет незначительным, так как основную часть бытовой нагрузки составляет именно активное потребление и не требуется больших затрат электроэнергии в индукторах электрических машин. Это является с одной стороны очень удачным эффектом, позволяющим снизить себестоимость конденсаторной схемы управления перетоками реактивной мощности. Ведь нагрузка на конденсаторную батарею будет незначительной. С другой стороны – это сильное ограничение на эффективность и возможности использования такой компенсации, что должно контролироваться на уровне автоматической схемы управления и обеспечивать сигнализацию о превышении возможностей компенсации в случае такой необходимости.

Следует отметить, что автоматика под такие задачи должна устанавливаться на стороне потребителя и будет представлять собой использование компактных недорогих устройств массового производства. Современная промышленность не только созрела до данного подхода к решению проблем именно распределённым, а не централизованным использованием оборудования, но способна на таких производствах получать сверхприбыли. Важно отметить, что всю полноту ответственности за качество электроснабжения несёт энергокомпания, поэтому устройства контроля уровня напряжения не должны находиться к потребителю ближе, чем в распределительных щитах.

В современной российской науке и промышленности активно решается проблема падения напряжения в низковольтных сетях, оборудование которых в значительной степени устарело и изношено. Нередко такое падение напряжения вызвано несоответствием длины низковольтной линии задачам передачи электроэнергии. Решением данной проблемы может быть установка дополнительных трансформаторных подстанций. Следует отметить, что в Барнауле работает на полную мощность и активно развивается завод ОАО «АлтТранс» [2]. Инвестиции в отрасль принесут большие доходы в сфере АПК, однако обеспечить их сможет скорее всего только плановая государственная экономика.

Обслуживание энергетической отрасли в этой части неизбежно влечёт за собой необходимость работы большого числа специалистов как в сфере электроэнергетики, так и в области информационных технологий. И компании, занимающиеся этими задачами, уже давно и активно работают в России [3].

Комплексный подход к решению проблемы обеспечения нормируемого уровня напряжения в распределительных сетях, включающий в себя как основанные на микроконтроллерах элементы автоматического управления напряжением на стороне потребителя, так и максимально надёжные, а значит простые в своей основе чисто физические решения, опирающиеся на фундаментальные законы электротехники, при грамотном распределении инвестируемых средств и ресурсов должны обеспечить взрывной рост как качества электроснабжения в распределительных сетях, так и потенциала для подключения большего числа потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Nucon», Технополис Москва, Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nucon.ru/news/ukrm/> (дата обращения: 07.12.2024).

2. «АлтТранс», Трансформаторы силовые распределительные масляные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.alttrans.ru/transform_silmas/ (дата обращения: 07.12.2024).

3. «Инприм-Энергия», Перспективные разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://изоляторыполимерные.рф/o-produktsii/perspektivnye-razrabotki/> (дата обращения: 07.12.2024).

АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЭП

Лошков Вадим Александрович, студент группы Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vadik2004228@mail.ru

Бородин Данил Евгеньевич, студент группы Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: mc.danil.borodin.2004@mail.ru

Казаков Родион Евгеньевич, студент группы Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: iamkazakovr@gmail.com

Научный руководитель: Соловской Александр Сергеевич, ст. преподаватель, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: solovskoyas@mail.ru

Роботизация и автоматизация при обслуживании линий электропередач и подстанций обеспечивают значительные преимущества, повышая безопасность, эффективность и производительность работ. Представлены причины необходимости автоматизированного мониторинга за энергосистемами. Рассматривается вопрос интеграции технологий в автоматизации для обслуживающего персонала. Представлены перспективы автоматизации и роботизации для мониторинга энергетических систем России.

Ключевые слова: роботизация, автоматизация, ЛЭП, подстанция, мониторинг.

Актуальность использования автоматизированных систем обслуживания ЛЭП обусловлена не только необходимостью увеличения эффективности работы энергетического оборудования, но и стремлением свести к минимуму риски, связанные со сбоями в его функционировании. На первый план выступают вопросы организации удаленного доступа, автоматизации получения данных, их своевременный анализ и реагирование на изменение режимов работы энергосистемы [1].

Необходимость постоянного автоматизированного мониторинга за энергосистемами обусловлена [1]:

- увеличением нагрузки энергосистем в связи с развитием промышленности и городов;
- большой площадью РФ и трудными климатическими условиями в регионах (вечная мерзлота, сейсмическая нестабильность пород, скачки влажности);
- большими затратами на обслуживание энергосистем и контроль над ними.

Для автоматизации и роботизации обслуживания энергосистем применяются интеллектуальные электронные устройства.

Интеллектуальные электронные устройства являются важным элементом в современных подстанциях. Эти устройства включают в себя электронные многофункциональные счетчики и цифровые реле, позволяя коммунальным службам повышать надежность и эксплуатационную эффективность [2].

Одним из важных преимуществ автоматизации и роботизации в задачах по техническому обслуживанию энергосистем являются существенное снижение рисков травматизма рабочих, связанных с тяжелыми условиями труда. Автоматизированные системы помогают снизить риски травматизма и возникновения несчастных случаев, возникающих либо из-за человеческой ошибки, либо по вине автоматики.

Внедрение роботизированных систем приводит к значительной экономии времени на техническое обслуживание. Эти системы осуществляют контроль и проведение ремонтных работ быстрее, чем человек. Помимо безопасности и эффективности, роботизация создает значительную экономию средств. Это связано со снижением затрат на рабочую силу, а также с быстротой реагирования системы на возможные неполадки в сети [1-2].

Технологии автоматизации и роботизации повышают точность выполнения задач по техническому обслуживанию энергосистем. Повышенная точность обслуживания не только увеличивает срок службы элементов системы, но и дает возможность избежать

дорогостоящего ремонта и перерывов в работе, что обеспечивает более надежное электроснабжение потребителей [2].

Несмотря на преимущества, интеграция технологий в автоматизации вызвала дискуссии о последствиях для рабочей силы, в частности, опасения по поводу смещения рабочих мест. В то время, как некоторые утверждают [1], что автоматизация может привести к сокращению возможностей трудоустройства рабочих, другие же предполагают [1], что она способствует переходу к более квалифицированной рабочей силе, требуя обучения в области системного управления и анализа данных для приспособления к меняющимся потребностям отрасли [1].

Споры вокруг роботизации процессов обслуживания также включают в себя проблемы внедрения устаревших технологий, отсутствия стандартизаций в проектах и сопротивления изменениям в отрасли электроэнергетики. Эти препятствия могут помешать полной реализации систем автоматизации, подчеркивая важность планирования инвестиций в развитие рабочей силы для осуществления плавного перехода к более автоматизированному будущему в обслуживании линий электропередач и подстанций [2].

Таким образом, недавние достижения в области автоматизации и роботизации энергосистем приводят к новым передовым решениям для осмотра и обслуживания энергетических систем России.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мокеев А.В. Интеллектуальные электронные устройства для распределительных устройств 6–35 кВ. ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис». URL: <https://enip2.ru/info/publications/2014/intellektualnye-elektronnye-ustroystva-dlya-raspredelitelnykh-ustroystv-6-35-kv>.
2. Нудельман Г. Обобщение мировых тенденций развития техники и технологий в области релейной защиты и автоматики. ОАО «ВНИИР», ИК В5 РНК СИГРЭ.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЛЭП И ПС

Минусов Андрей Александрович, бакалавр группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: an.minusov@yandex.ru

Бугаев Константин Владимирович, бакалавр группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: vehhxbrr23@mail.ru

Климов Алексей Иванович, бакалавр группы Э-24, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: alekseyklimov1234@mail.ru

Леденева Елизавета Андреевна, инженер-электрик АО ПО «АШК», e-mail: vehhxbrr23@mail.ru

Научный руководитель: Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

В настоящее время широко наблюдается повсеместный рост количества потребителей первой и второй категорий, связанный, преимущественно с высокой автоматизацией промышленных предприятий, цифровизацией государственных и медицинских учреждений. В связи с этим, перед энергетикой и сетевыми компаниями, в частности, стоит вопрос повышения надежности эксплуатации и работы линий электропередачи и подстанций.

Ключевые слова: надежность, автоматизация, линии электропередачи, системы умного измерения, беспилотные летательные аппараты, новые технологии, подстанции.

Перед рассмотрением современных решений для организации работы линий электропередачи, необходимо отметить самый «проблемный» элемент электроэнергетической системы – воздушная линия электропередачи (ВЛЭП), который требует наибольшего внимания при создании способов повышения надежности работы электрических сетей.

В самом деле, воздушные линии являются самым частоповреждаемым устройством электросетевого комплекса. Связанно это в первую очередь с большой протяженностью электроустановок и значительной подверженностью влиянию погодных и атмосферных условий. Нарушение работы воздушных линий электропередачи влечет за собой перечень негативных последствий, среди которых выделяют: изменение режима работы электрической сети; нарушение электроснабжения промышленных и бытовых потребителей; незапланированные потери электрической энергии; выход из строя оборудования станций и подстанций, распределительных устройств [1].

Понятие надежности в сфере электроэнергетики представляет собой свойства объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Если рассмотреть надежность как комплекс свойств, то для современных проектов развития электрических сетей наиболее значимыми являются следующие: восстанавливаемость, управляемость и устойчивоспособность. В связи с этим, активно развиваются системы, которые включают в себя: автоматическое прогнозирование состояния сети; поддержание режима её работы; отключения поврежденных участков [2].

Примером подобной системы является гибкая альтернативная система передачи переменного тока на основе устройства FACTS. При внедрении данной системы электроэнергетическая сеть будет способна менять свой режим работы, переходя из одного установившегося состояния в другое, исключая при этом создание аварийных режимов. Подобные «умные» сети способны решать сложнейшие задачи управления перетоками мощности в сложных замкнутых сетях, осуществлять увеличение пропускной способности линий электропередачи, в том числе, за счёт изменения индуктивной составляющей

комплексного сопротивления проводов. FACTS устройства способны улучшать качество электроэнергии путём нивелирования недостатков генерирующих устройств, таких как отклонение частоты передаваемого тока и его несинусоидальности.

Энергетическими компаниями также активно внедряется система умного измерения – Smart Metering, которая в свою очередь является основой для разработки новых технологий повышения надежности работы ЛЭП и ПС. Данная система позволяет вести измерения мощности на интересующих участках сети и также оперативно получать данные о потребляемой электроэнергии.

Среди новых технологий в сфере работы ЛЭП и ПС невозможно не отметить применение ряда беспилотных летательных аппаратов. Среди них выделяют устройства для визуальной диагностики повреждений на линии; технического обслуживания; ремонта проводов. Данный подход к эксплуатации воздушных линий электропередачи в значительной степени обеспечивает один из критериев надежности – безопасность – свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для людей. Использование подобных устройств позволяет быстрее находить и исправлять имеющиеся повреждения на воздушных линиях [3].

Можно отметить, что применение перечисленных технологий положительно сказывается на работе электроэнергетической системы. Повышение надежности работы линий электропередачи и подстанций ведет к улучшению экономического состояния страны, позволяет вводить в строй всё более и более энергоёмкие производства, требующие больших мощностей и бесперебойного электроснабжения в любых ситуациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пригодский, Д. А. Современные способы повышения надежности ЛЭП / Д. А. Пригодский, Е. В. Скребнева // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая" : Конференция проходит при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Кемерово, 18–21 апреля 2017 года / Ответственный редактор Костюк Светлана Георгиевна. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 21053.
2. Савина Н. В. Надежность систем электроэнергетики. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2011 — 269 с.
3. Голодников, М. С. Новые технологии для повышения надежности ЛЭП / М. С. Голодников // Россия молодая : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XVI ВСЕРОССИЙСКОЙ, НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, Кемерово, 16–19 апреля 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 21403.1-21403.4.

АНАЛИЗ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ БРОСКОВ ТОКА ВКЛЮЧЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Овсепян Ваник Алексанович, магистрант группы 8Э-32, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: ovsepyanvanik@yandex.ru

Богоутдинов Евгений Ринатович, магистрант группы 8Э-32, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: ebogoutdinov@gmail.com

Девянин Александр Александрович, магистрант группы 8Э-32, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: aleksandr-devyanin@bk.ru

Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

В статье представлен анализ негативного влияния бросков намагничивающего тока, возникающих при коммутации силовых трансформаторов, на элементы электрической сети. Приводятся основные сведения о сущности бросков тока включения и о причинах их возникновения. Выявлены основные негативные явления, сопутствующие броскам намагничивающего тока и приводящие к ухудшению состояния элементов электрической сети. На основании проведенного анализа выявлена проблемная ситуация, заключающаяся в необходимости снижения бросков намагничивающего тока и, тем самым, устранения сопутствующих негативных явлений.

Ключевые слова: силовой трансформатор, броски тока намагничивания, остаточный магнитный поток, искажение напряжения, старение изоляции, механическая деформация, ложное срабатывание устройств РЗА.

Известно, что силовые трансформаторы получили широкое распространение в сфере электроэнергетики, так как позволяют преобразовывать электрическую энергию одного уровня напряжения и тока в электрическую энергию другого уровня напряжения и тока с сохранением частоты. Данное обстоятельство широко применяется с целью повышения уровня напряжения для возможности передачи электроэнергии на большие расстояния с минимально возможными потерями в линиях электропередачи. В свою очередь, с целью преобразования напряжения сети до уровня, требуемого для работы бытовых электроприемников, применяются понижающие силовые трансформаторы.

Однако, эксплуатация силовых трансформаторов сопровождается возникновением аномальных режимов работы, вызванных, в частности, бросками тока намагничивания (БТН) при включении трансформаторов под напряжение. Объясняется это возникновением переходного процесса, обусловленного изменением параметров электрической сети и переходом от докоммутационного состояния электромагнитной системы к послекоммутационному.

Известно, что БТН при коммутации силовых трансформаторов возникают всякий раз, когда величина и полярность остаточного магнитного потока в сердечнике не совпадает с мгновенным значением принужденной составляющей магнитного потока. Кроме того, на величину тока включения в значительной степени влияют фаза напряжения сети в момент включения, а также значение потокосцепления в точке насыщения и наклон кривой намагничивания в области насыщения [1].

Броски тока включения способны достигать значений, кратно превышающих номинальный ток трансформатора и, как следствие, являются причиной целого ряда негативных явлений, сказывающихся на состоянии элементов электрической сети.

Согласно исследованиям, включение силового понижающего трансформатора на сеть в режиме холостого хода приводит к насыщению магнитопровода трансформатора и искажению формы тока как в обмотке вновь включаемого трансформатора, так и в электрической сети, к которой подключается трансформатор, а также в первичных обмотках

других трансформаторов электроэнергетической системы, работающих параллельно. При этом, намагничивающий ток обмотки трансформатора, а также токи в электрической сети и подключенном к ней высоковольтном оборудовании содержат постоянную, а также значительную вторую гармоническую составляющие. Наличие в токах постоянной и высших гармонических составляющих вызывает, как и основная гармоника, падение напряжения на участках электрической сети и в обмотках трансформаторов, что приводит к искажению формы соответствующих напряжений. При этом результирующее напряжение содержит, как и ток, нулевую и вторую гармоническую составляющие (рисунок 1).

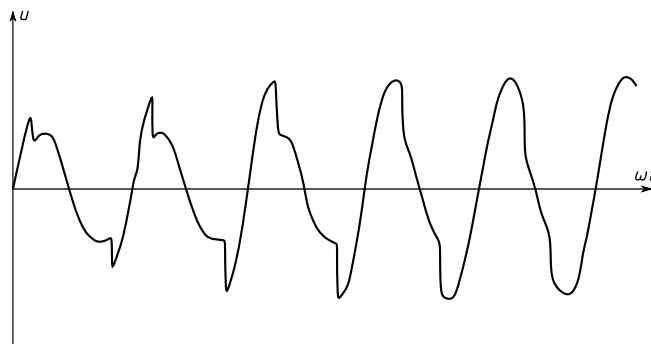


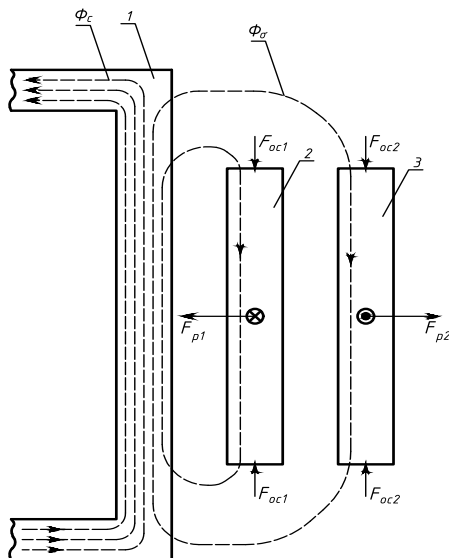
Рисунок 1 – Осциллограмма напряжения сети при наличии спектра высших гармоник в его составе

Процесс изготовления электроизоляционных материалов сопряжен с образованием в толще изоляции пор и расслоений, заполненных газом. Наличие газовых включений приводит к возникновению внутренних частичных разрядов, сопровождающихся ионизацией газа и образованием объемных зарядов, которые впоследствии нейтрализуются с выделением энергии. Это, в свою очередь, приводит к локальному повышению температуры в области частичного разряда, что сопровождается интенсивным разрушением изоляции в локальных зонах с последующим пробоем всей изоляции. Наличие высших гармоник в фазовом напряжении и, следовательно, в напряженности электрического поля в изоляции и газовых включениях только усугубляет ситуацию, так как частота следования (количество частичных разрядов в единицу времени) пропорционально частоте приложенного напряжения.

Броски магнитного потока и тока намагничивания приводят к увеличению сил механической деформации (рисунок 2), что особенно критично для часто коммутируемых электропечных трансформаторов, работающих на переменную нагрузку. Это вызвано тем, что нормируемый ток короткого замыкания данных трансформаторов, относительно которого производится расчет электродинамической стойкости при проектировании, вдвое меньше, чем у силовых трансформаторов. В связи с этим он того же порядка, что и токи включения. Механические деформации изоляции, возникающие под действием электродинамических сил при включениях силовых трансформаторов, приводят к уменьшению энергии активации процесса разрыва химических связей структуры изоляции, а сильный нагрев проводов и, соответственно, изоляции приводят к их разрыву, тем самым вызывая ее износ. Это, в свою очередь, способствует развитию внутренних частичных разрядов и еще более ускоренному износу изоляции обмоток трансформатора.

Соизмеримость максимальной амплитуды токов включения с ударным током короткого замыкания приводит к ложному срабатыванию устройств релейной защиты. Применение современных микропроцессорных (цифровых) устройств релейной защиты, а также насыщающихся трансформаторов тока в совокупности с имеющимися знаниями о различиях между намагничивающим током и током короткого замыкания в плане спектра гармоник, величины и длительности затухания апериодической составляющей позволяет производить более точную отстройку уставок в цепях релейной защиты с целью уменьшения

влияния бросков намагничивающего тока на ток небаланса дифференциальной защиты. Однако, стоит заметить, что тенденция строительства цифровых подстанций, оснащенных цифровыми устройствами релейной защиты, и модернизация старых подстанций началась относительно недавно. Поэтому на сегодняшний день все еще остаются подстанции, оснащенные электромеханическими устройствами РЗА, что сильно усложняет работу специалистов в области релейной защиты, а также является причиной частых ложных срабатываний устройств дифференциальной защиты при включении силовых трансформаторов. Данная проблема наблюдается также при включении электропечных и силовых трансформаторов, используемых на территории промышленных объектов.



1 – магнитопровод; 2 – обмотка низшего напряжения; 3 – обмотка высшего напряжения; Φ_c – основной магнитный поток, замыкающийся по магнитопроводу; Φ_σ – магнитный поток рассеяния; F_{oc1} , F_{oc2} и F_{p1} , F_{p2} – осевые и радиальные силы, действующие на внутреннюю и внешнюю обмотки трансформатора соответственно

Рисунок 2 – Электродинамические усилия, действующие на обмотки силового трансформатора

На основании статистики ПАО «Россети» известно о неудовлетворительном техническом состоянии оборудования электрических подстанций, вызванном, в частности, высокой степенью их износа. Это, в свою очередь, является причиной 40% аварий первичного оборудования.

Совместно с этим, частые случаи ложного срабатывания устройств релейной защиты и автоматики ввиду неверно выставленных уставок в цепях РЗА наряду с бросками намагничивающего тока при включении силовых трансформаторов под напряжение приводят к еще более сильному ухудшению текущего состояния элементов электросетевого хозяйства.

Высокая стоимость и ограниченная сфера применения разработанных методов борьбы с бросками тока включения не позволяет в полной мере реализовывать их на практике [2]. Известно, что большая часть промышленных предприятий, в чьем ведении имеются силовые трансформаторы, а также сетевые компании прибегают к «загрублению» (увеличению) уставок устройств релейной защиты с целью снижения их чувствительности к броскам намагничивающего тока и беспрепятственного включения силовых трансформаторов под напряжение. Однако, данное решение может привести к возникновению аварийной ситуации, которой будут сопутствовать финансовые затраты на замену вышедшего из строя

оборудования, а также финансовые потери, обусловленные недоотпуском электрической энергии в течение периода восстановления электроснабжения потребителей.

Таким образом, можно выявить проблемную ситуацию, состоящую в необходимости снижения бросков тока включения силовых трансформаторов в процессе их коммутации в условиях отсутствия применяемых на практике устройств ограничения бросков намагничивающего тока, что позволило бы сберечь ресурс силового оборудования, снизив тем самым темп роста износа и продлив срок эксплуатации, а также предотвратить ложное срабатывание устройств РЗА и исключить факт увеличения уставок срабатывания этих устройств обслуживающим электроустановки персоналом, повысив тем самым надежность защиты и исключив возможное возникновение аварийных ситуаций ввиду ошибочных действий персонала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Халина, Т. М. Анализ возникновения бросков магнитного потока и намагничивающего тока при включении трансформатора на холостом ходу / Т. М. Халина, В. А. Овсепян, Е. Р. Богоутдинов // Энергетические системы. – 2022. – № 4. – С. 46-53. – DOI 10.34031/ES.2022.4.005.
2. Овсепян, В. А. Анализ существующих способов ограничения бросков тока включения силовых трансформаторов / В. А. Овсепян, Е. Р. Богоутдинов, Т. М. Халина // Ползуновский альманах. – 2023. – № 2-2. – С. 98-100.

Электронное научное издание

**ПОСТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*МАТЕРИАЛЫ II РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(10 – 14 ДЕКАБРЯ 2024 Г.)*

Издано в авторской редакции

*Отв. редакторы:
Б. С. Компанеец, В. Ю. Васильев*

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

[В начало](#)