

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 I РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(27 НОЯБРЯ – 8 ДЕКАБРЯ 2023 Г.)

АлтГТУ
Барнаул • 2024

© Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова, 2024

Об издании [1](#), [2](#)

УДК 623.064.5

Построение и функционирование современной системы электроснабжения : материалы I Региональной научно-практической конференции (27 ноября-8 декабря 2023 года, г. Барнаул) / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул : АлтГТУ, 2024. – 50 с. – URL : https://journal.altstu.ru/konf_2024/2024_1/139/. – Текст : электронный.

Конференция посвящена актуальным вопросам научно-практической деятельности ученых в области электроэнергетики. Сборник включает материалы конференции, проведенной 27 ноября – 8 декабря 2023 года в г. Барнауле. Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственные редакторы:

Компанеец Борис Сергеевич – заведующий кафедрой ЭПБ
Васильев Валерий Юрьевич – зав. лабораторией кафедры ЭПБ
Дедаев Константин Евгеньевич – ст. преподаватель кафедры ЭиАЭП, инженер

Сборник научных статей

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 31.12.2024. Объем издания - 3 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](#)

© Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В., Жуков А.А. Реверсивное устройство регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя.....	4
Жуков А.А., Дорохов Д.В., Еремочкин С.Ю. Моделирование рабочих характеристик полупроводникового редуктора, ведомого однофазной сетью переменного тока.....	7
Пономарев Р.А., Ведманкин А.В. Модернизация шкафа обогрева разъединителей для открытых распределительных сетей 35 кВ.	9
Титов А.А., Ведманкин А.В. Автоматизированная система энергоучета для жилых кварталов г. Барнаула	12
Хоренко П.Е., Федянин В.Я. Проблема повышения магнитных потерь трансформатора при повышении рабочей частоты	13
Шумский Д.В., Стальная М.И. Эффективное использование преобразователя частоты на удаленных водозаборах	17

СЕКЦИЯ «НАДЕЖНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ»

Балашов Н.А., Компанеец Б.С. Использование беспилотных летательных аппаратов в целях повышения безопасности при эксплуатации линий электропередачи	20
Девянин А.А., Овсепян В.А., Богоутдинов Е.Р., Компанеец Б.С. Концепция устройства борьбы с перенапряжениями.....	21
Конев Е.М., Компанеец Б.С. Способы размещения устройства непрерывного контроля состояния трансформаторного масла	23
Корюгин Г.В., Ткаченко Д.А., Нефедов С.Ф. Проблемы внедрения солнечных источников энергии в основную сеть питания потребителей	25
Осипов К.А., Кундель С.А., Компанеец Б.С. Анализ нормативной документации по ограничению величины допустимых потерь электроэнергии.....	27
Соколов Р.А., Сабельников А.С. Использование коэффициента загрузки при разработке математической модели выбора рационального класса энергоэффективности трансформаторов.....	30
Степанов В.М., Галушко П.А., Васильев В.Ю. Оценка степени влияния относительной влажности воздуха на удельную мощность ветрового потока	31

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДСТАНЦИЙ»

Антонова Е.М., Компанеец Б.С. Математический подход к анализу минимума потерь в сети электроснабжения	34
Баранов И.А., Коноплев Н.Е., Соловской А.С. Актуальность использования индивидуальных дозиметров для контроля электромагнитной обстановки.....	35
Григорьев С.Е., Мишин Д.Р., Компанеец Б.С. Анализ возможности применения алгоритмов УЗДП в сетях 6-35 кВ	37
Дронов И.А., Жуков И.А., Компанеец Б.С. Способы понижения стоимости изготовления шинпровода без потери эффективности	39
Овсепян В.А., Богоутдинов Е.Р., Девянин А.А., Компанеец Б.С. Моделирование переходного процесса при включении силового трансформатора на холостом ходу	41
Пуляева О.Ю., Коноплев Н.Е., Соловской А.С. Актуальность применения системы мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропередач	44
Татур И.Э., Компанеец Б.С. Типы возникающих дефектов на ВЛ и перспективные методы борьбы с ними.....	46

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

РЕВЕРСИВНОЕ УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Еремочкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: s.eremochkin@yandex.ru

Дорохов Данил Валерьевич, студент группы 8Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: danil.dorokhov.2000@mail.ru

Жуков Алексей Андреевич, студент группы 8Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: zh_astu@mail.ru

В статье рассмотрена проблема запуска и регулирования скорости однофазных двухобмоточных асинхронных электродвигателей. Предложено полупроводниковое устройство, позволяющее осуществлять как регулирование скорости, так и изменение направления вращения двигателя. Подробно рассмотрен принцип работы предложенного устройства, приведена принципиальная схема векторные диаграммы магнитного потока поля статора при вращении двигателя в прямом направлении, а также реверсе.

Ключевые слова: электрический привод, преобразователь частоты, электродвигатель, векторно-алгоритмическое управление.

В настоящее время развитие промышленности, сельского хозяйства, новых отраслей техники определяет повышенные требования к производственным и технологическим процессам. Во всех отраслях человеческой деятельности повсеместно применяются системы автоматизации и управления рабочими процессами [1]. Внедрение в производство современных устройств управления исполнительными механизмами способствует увеличению производительности труда, снижает влияние человеческого фактора, что в итоге приводит к повышению качества продукции [2].

При построении автоматизированных систем управления технологическими процессами хорошо показали себя двигатели переменного тока, главным образом, асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором [2]. Данные двигатели используются для приведения в движение различных исполнительных элементов устройств: барабан стиральной машины, лопасти вентиляторов и насосов, шпиндель токарного станка, режущие части пилорам, молочный насос доильной установки и т.д. При этом, наиболее широкое распространение получили однофазные асинхронные двухобмоточные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, что объясняется их низкой стоимостью, простотой конструкции, легкостью в обслуживании и эксплуатации, а также высокой надежностью [3, 4].

Однофазный двухобмоточный асинхронный двигатель содержит две статорные обмотки, что позволяет, как и в случае с трехфазным двигателем, создавать круговое вращающееся поле в статоре. Ротор однофазного двухобмоточного электродвигателя, в большинстве случаев, выполняется короткозамкнутым, что позволяет увеличить надежность двигателя и снизить стоимость.

Осуществление пуска однофазного двухобмоточного двигателя напрямую от источника однофазного переменного напряжения не представляется возможным, так как в этом случае к обмоткам статора будет приложено одинаковое по фазе напряжение и, соответственно, токи, протекающие по обмоткам, будут также иметь одинаковую фазу. Таким образом, для пуска однофазного двигателя с короткозамкнутым ротором необходимо дополнительное фазосдвигающее устройство.

Для создания разности фаз между токами статорных обмоток, в большинстве случаев, используется конденсатор. Существует несколько вариантов схем конденсаторного пуска однофазного асинхронного двигателя, которые приведены на рисунке 1.

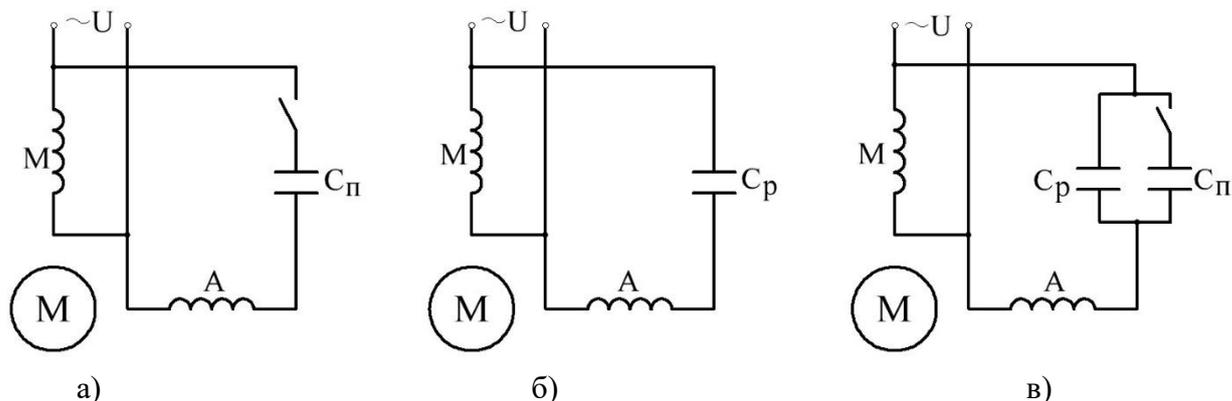


Рисунок 1 – Схемы конденсаторного пуска однофазного асинхронного двигателя: а – с пусковым конденсатором; б – с рабочим конденсатором; в – с пусковым и рабочим конденсаторами

Конденсаторный способ пуска однофазного асинхронного электродвигателя характеризуется пониженным значением коэффициента полезного действия и перегрузочной способностью, большими габаритами и сложностью в эксплуатации. Кроме того, для осуществления реверса двигателя необходимо изменение схемы подключения конденсаторов, что подразумевает наличие дополнительных устройств переключения.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка устройства бесконденсаторного запуска однофазного асинхронного электродвигателя, с возможностью изменения направления вращения двигателя, повышенными энергетическими характеристиками и эксплуатационными параметрами, а также низкой стоимостью.

На рисунке 2 приведена принципиальная электрическая схема реверсивного устройства регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя [5].

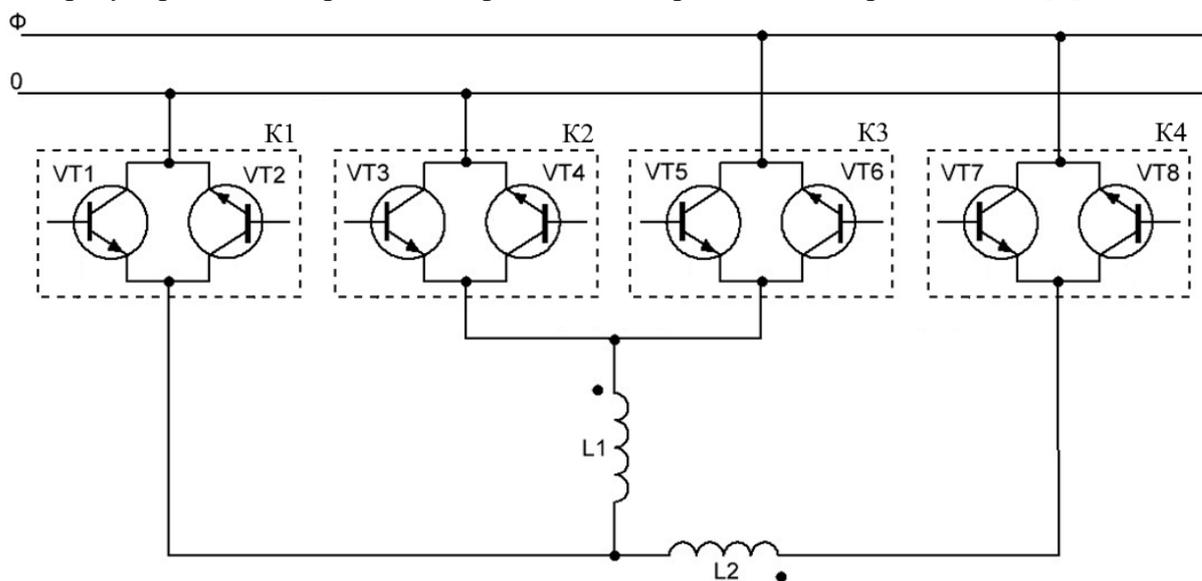


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема устройства

Устройство содержит восемь транзисторов (VT1-VT8), которые сгруппированы попарно и соединены друг с другом встречно-параллельно. Пары транзисторов образуют полупроводниковые ключи (K1-K4), предназначенные для коммутации статорных обмоток с питающей сетью переменного тока. Первый полупроводниковый ключ коммутирует объединенные концы обмоток статора с нулевым проводом питающей сети. Второй полупроводниковый ключ коммутирует начало первой обмотки (L1) с нулевым проводом.

Третий полупроводниковый ключ коммутирует фазовый провод с началом первой обмотки статора. Четвертый полупроводниковый ключ коммутирует фазовый провод с началом второй (L2) обмотки статора.

Путем коммутации статорных обмоток с питающей сетью по заранее заданному алгоритму возможно создавать различные направления вектора магнитного потока поля статора (рисунок 3). Кроме того, при разной частоте и алгоритмах коммутации полупроводниковых ключей возможно регулировать скорость однофазного двухобмоточного электродвигателя, а также осуществлять реверс.

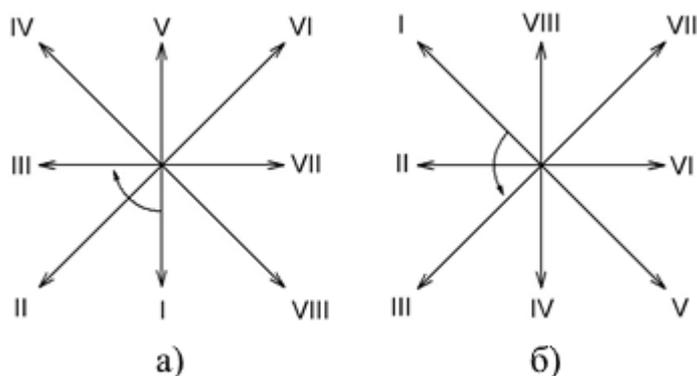


Рисунок 3 – Векторы магнитного потока поля статора: а – при вращении в направлении по часовой стрелке; б – при вращении в направлении против часовой стрелки

Таким образом, предложенное реверсивное устройство регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя может быть использовано в электроприводе для запуска, изменения направления вращения и скорости двигателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кривошеева, А. П. Оценка выработки электроэнергии ветроэлектрическими установками на территории города Барнаула / А. П. Кривошеева // Молодежь - Барнаулу : МАТЕРИАЛЫ XXIV ГОРОДСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, Барнаул, 01–30 ноября 2022 года. – Барнаул: Алтайский государственный университет, 2023. – С. 420.

2. Еремочкин, С. Ю. Разработка компьютерной имитационной модели трехфазного асинхронного электропривода с использованием регулируемого транзисторного редуктора / С. Ю. Еремочкин, А. А. Жуков, Д. В. Дорохов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – Т. 50, № 2. – С. 76-82. – DOI 10.21822/2073-6185-2023-50-2-76-82.

3. Еремочкин, С. Ю. Разработка и исследование энергоэффективного электропривода для сельскохозяйственных машин / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2(100). – С. 129-134.

4. Еремочкин, С. Ю. Моделирование электромеханических характеристик трехфазного электродвигателя при векторно- алгоритмическом управлении в среде Matlab Simulink / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 1(21). – С. 22-37.

5. Патент № 2767754 С1 Российская Федерация, МПК H02P 1/42, H02P 27/048. Реверсивное устройство регулирования скорости однофазного асинхронного электродвигателя : № 2021115485 : заявл. 28.05.2021 : опубл. 21.03.2022 / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова".

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО РЕДУКТОРА, ВЕДОМОГО ОДНОФАЗНОЙ СЕТЬЮ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Жуков Алексей Андреевич, студент группы 8Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: zh_astu@mail.ru

Дорохов Данил Валерьевич, студент группы 8Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: danil.dorokhov.2000@mail.ru

Еремочкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: S.Eremochkin@yandex.ru

В данной работе предложено устройство запуска трехфазных асинхронных электродвигателей от однофазной сети переменного тока. Выполнено компьютерное имитационное моделирование работы трехфазного асинхронного электродвигателя, питание которого осуществляется с помощью полупроводникового редуктора. В результате моделирования определены рабочие характеристики исследуемого электропривода. Проведена оценка эффективности работы электродвигателя при питании от однофазной сети переменного тока с использованием полупроводникового редуктора.

Ключевые слова: *однофазная питающая сеть, трехфазный асинхронный электродвигатель, полупроводниковый редуктор, компьютерное имитационное моделирование, SimInTech.*

Как известно, для запуска трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором от однофазной сети наиболее часто в качестве фазосдвигающих элементов применяют пусковые и рабочие конденсаторы. Однако, не всегда представляется возможным использование данного метода, в силу необходимости обслуживания и замены устройств, а также из-за больших габаритов конденсаторов.

В таком случае, предлагается применение полупроводникового редуктора (рисунок 1). Устройство выполнено на базе полупроводниковых элементов, за счет чего достигается более высокая надежность, а также значительно уменьшаются вес и габариты устройства.

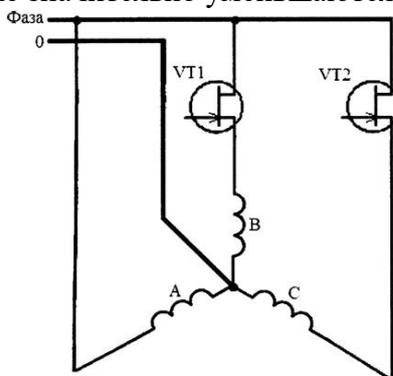


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема устройства

Полупроводниковый редуктор состоит из двух полупроводниковых ключей, коммутирующих обмотки электродвигателя к однофазной питающей сети переменного тока. Первый полупроводниковый ключ выполнен в виде полевого транзистора (VT1), при этом сток транзистора VT1 соединен с фазой питающей сети, а его исток с началом обмотки «В». Второй полупроводниковый ключ выполнен в виде полевого транзистора (VT2), при этом сток транзистора VT2 соединен с фазой питающей сети, а его исток с началом обмотки «С». Начало обмотки «А» подключено к фазе питающей сети. Конца статорных обмоток «А», «В» и «С» соединены в общую нулевую точку, которая соединена с нулем питающей сети.

Затворы полевых транзисторов VT1 и VT2 подключаются к системе управления, которая обеспечивает их открытие по заданному алгоритму [1].

Запуск и работа электродвигателя осуществляется путем создания вращающегося магнитного поля статора за счет использования векторно-алгоритмического метода управления.

На рисунке 2 представлена имитационная модель асинхронного электродвигателя марки «4A50B4Y3» при питании с помощью полупроводникового редуктора, ведомого однофазной сетью, разработанная в среде SimInTech.

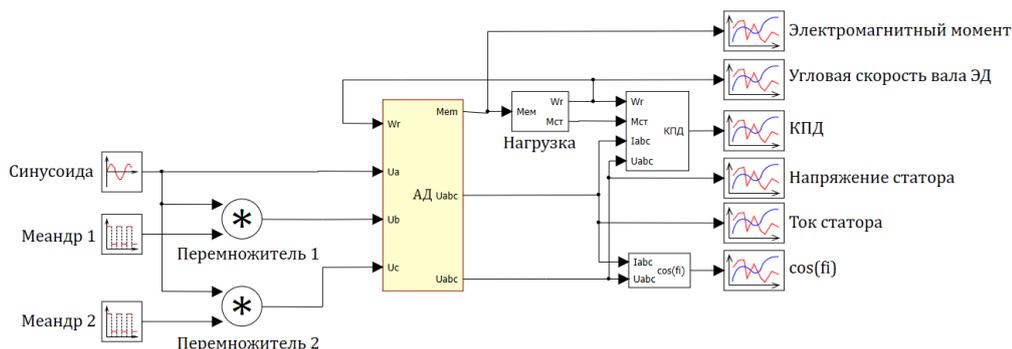


Рисунок 2 - Имитационная модель асинхронного электропривода при использовании полупроводникового редуктора, ведомого однофазной сетью

В целях осуществления сравнительного анализа эффективности трехфазного электропривода при питании с помощью полупроводникового редуктора, было выполнено моделирование работы трехфазного электродвигателя при питании от однофазной сети с помощью фазосдвигающих конденсаторов.

Существует ряд схем включения электродвигателей с пусковыми и рабочими конденсаторами, однако, в силу небольшой мощности исследуемого электродвигателя, для обеспечения запуска электродвигателя от однофазной сети использована схема включения с использованием только рабочей ёмкости при соединении статорных обмоток электродвигателя по типу «звезда» [2].

На рисунке 3 представлена схема запуска трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети с рабочим конденсатором.

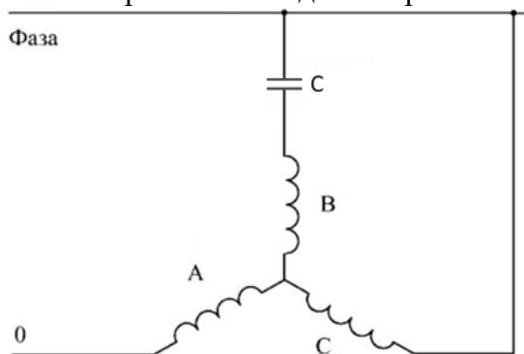


Рисунок 3 – Схема конденсаторного запуска

В общем случае, пусковая емкость рассчитывается по следующей формуле (1):

$$C_{\text{п}} = C_{\text{р}} + C_0, \quad (1)$$

где $C_{\text{р}}$ – емкость рабочего конденсатора;

C_0 – емкость отключаемого конденсатора.

Для схемы, представленной на рисунке 3, значение рабочей емкости определяется по следующему соотношению (2):

$$C_{\text{р}} = 2800 \frac{I_{\text{НОМ}}}{U}, \quad (2)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток, А;

U – напряжение питающей сети, В.

Выполним расчет конденсатора для запуска электродвигателя «4A50B4Y3» [2, 3].

$$C_{\text{п}} = 2800 \frac{0,41}{220} + 0 = 5,21 \text{ мкФ}, \quad (3)$$

Для исследуемого электропривода были получены зависимости коэффициента мощности (рисунок 4.а) и коэффициента полезного действия (рисунок 4.б) от активной мощности на валу электродвигателя.

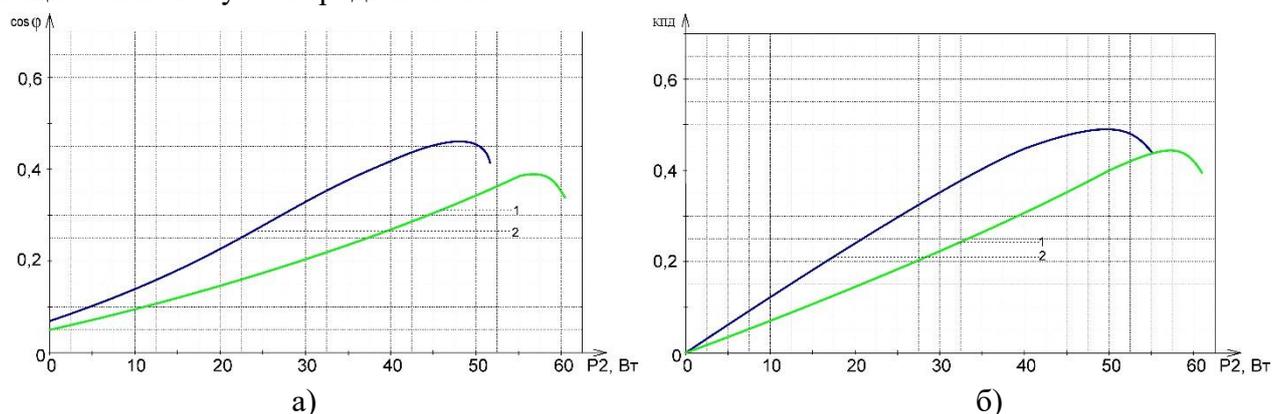


Рисунок 4 — Рабочие характеристики электропривода: а – при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора; б – при питании с помощью полупроводникового редуктора

В результате моделирования установлено, что исследуемое устройство питания позволяет осуществлять работу электродвигателя с коэффициентом мощности ($\cos\phi$) в 121% от величины при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора, а также с коэффициентом полезного действия (КПД) в 115% от величины при питании с помощью фазосдвигающего конденсатора.

Проведенное моделирование подтверждает высокую эффективность использования полупроводникового редуктора в качестве ключевого компонента системы питания трехфазных асинхронных электродвигателей от однофазной питающей сети.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полупроводниковый редуктор, ведомый однофазной сетью переменного тока: пат. 163695 Рос. Федерация. № 2015154188/07 / Стальная М.И., Еремочкин С.Ю., Титова А.А.; заявл. 16.12.2015 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 12.
2. Торопцев, Н.Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором. М.: НТФ «Энергопрогресс», 1988. 95 с.
3. Кацман М.М. Электрические машины. М.: Академия, 2013. 496 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ШКАФА ОБОГРЕВА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 35 КВ

Пономарёв Родион Алексеевич, студент группы Э-13, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: pnommrcfrd@gmail.com

Ведманкин Александр Васильевич, старший преподаватель, Алтайский Государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: wedmankin.a.w@mail.ru

Рассмотрим вопрос о модернизации шкафов обогрева разъединителей открытых распределительных устройств. Работа акцентирует внимание на важности обновления шкафов обогрева, а также обеспечения надежности работы электрооборудования в суровых зимних условиях. Статья также содержит анализ влияния модернизации на устойчивость и безопасность энергосистемы, а также рекомендации по оптимизации энергоэффективности и устранению возможных проблем.

Ключевые слова: шкаф обогрева, низкотемпературные композиционные электрообогреватели, обогрев разъединителей, наноструктурные многоэлектродные композиционные электрообогреватели, открытое распределительное устройство.

В России в настоящее время наблюдается активное развитие различных отраслей, таких как туризм, промышленность, строительство и другие сферы экономики, что влечет за собой возрастающую потребность в энергии. Этот рост потребности в энергии связан как с расширением существующих инфраструктур, так и с внедрением новых технологий и увеличением производственных мощностей в различных отраслях. С учетом этого роста и развития, увеличение мощности и модернизации открытых распределительных устройств становится все более актуальным вопросом, так как обеспечение устойчивого и достаточного энергетического обеспечения является ключевым фактором для поддержания роста экономики и обеспечения бесперебойной работы различных отраслей.

Одним из быстрорастущих туристических кластеров – является горнолыжный курорт Шерегеш в Кемеровской области. Он является одним из самых популярных горнолыжных курортов России, в следствии этого увеличивается потребность в энергии для обеспечения работы различных объектов инфраструктуры, таких как освещение, подъемники, гостиницы, рестораны и другие удобства. Увеличение потребления энергии может потребовать модернизации и увеличения емкости распределительных устройств для обеспечения надежной подачи электроэнергии.

Старые или недостаточно мощные распределительные устройства могут стать проблемным местом в системе электроснабжения при росте спроса на энергию. Модернизация и увеличение мощности этих устройств могут быть необходимы для обеспечения роста туристической инфраструктуры и энергетических потребностей курорта. Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения важно для обеспечения комфорта и безопасности посетителей горнолыжного курорта. Увеличение мощности распределительных устройств и их модернизация могут помочь предотвратить возможные сбои и обеспечить эффективную работу инфраструктуры.

В связи с развитием инфраструктуры и повышением энергетических потребностей различных объектов, включая объекты распределительных устройств напряжением 35 кВ, следует учитывать условия эксплуатации в зимний период. Особое внимание уделяется обеспечению надежного функционирования и безопасности электрооборудования в условиях низких температур, снегопадов и образования льда. Для поддержания эффективной работы оборудования в зимний период часто требуется обогрев разъединителей, что помогает предотвратить образование льда, а также обеспечить нормальную работу коммутационных устройств. Это важно для поддержания безопасности и надежности энергосистемы в условиях сурового зимнего климата.

Обогрев разъединителей и других частей электрооборудования становится значимой частью поддержания стабильной работы распределительных сетей, включая объекты в зимний период. Увеличение мощности и модернизация открытых распределительных устройств, включая внедрение современных систем обогрева и управления, важны для обеспечения эффективной работы энергетической инфраструктуры в условиях переменчивого климата.

Для обогрева разъединителей возможно использовать шкафы обогрева выключателей ШОВ предназначенные для коммутации цепей обогрева выключателей и их приводов, установленных на открытых распределительных устройствах электростанций и подстанций ОРУ 35-750кВ. Конструкция шкафа ШОВ [1] представляет собой ящик навесного исполнения или шкаф напольного исполнения. Шкаф обогрева выключателей ШОВ имеют защитное покрытие, обеспечивающие их продолжительную эксплуатацию в условиях воздействия климатических факторов внешней среды. В качестве основного оборудования в шкафу устанавливаются рубильник-разъединитель и автоматический выключатель.

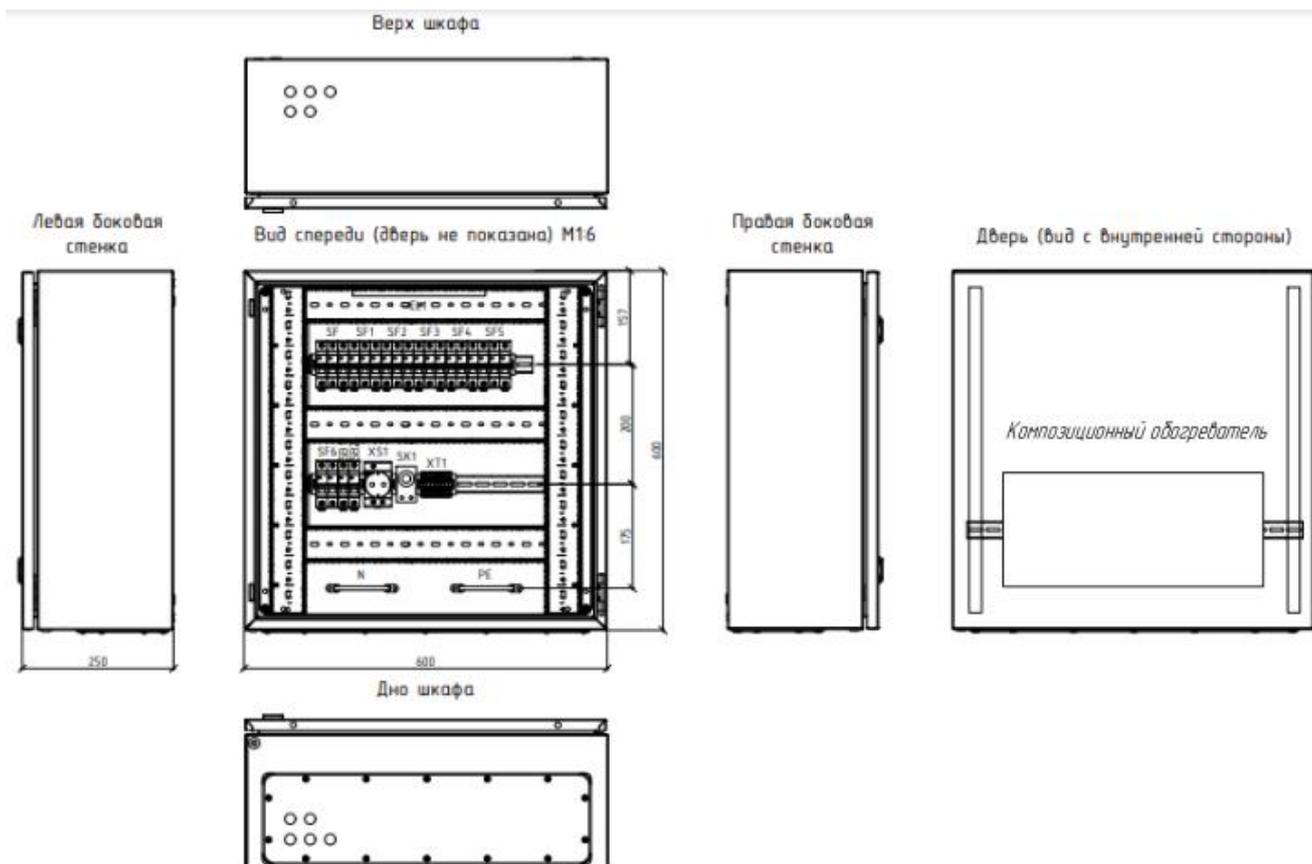


Рисунок 1 - Общий вид шкафов обогрева

Для поддержания температуры и воспрепятствую образованию конденсата используется низкотемпературный композиционный электрообогреватель. Низкотемпературные композиционные электрообогреватели представляют собой специальные системы обогрева, разработанные для поддержания оптимальной температуры в различных условиях, включая низкие температуры окружающей среды.

Наноструктурные многоэлектродные композиционные электрообогреватели (НМКЭ) представляют собой систему, которая использует материалы на основе бутилкаучука (БК) в виде пластин для преобразования электрической энергии в тепловую. Они разработаны с целью обеспечения заданной температуры на поверхности (300-400 К) с соответствующими электро-теплофизическими и физико-механическими характеристиками.

Наиболее эффективные композиционные обогреватели являются на основе материала бутилкаучука с различным электропроводящим слоем. Эти электрообогреватели могут быть интегрированы в различные системы управления и контроля, обеспечивая точное и равномерное распределение тепла при минимальных затратах энергии.

В России с каждым годом становится всё больше потребителей электроэнергии, следовательно, мощность выработки электроэнергии увеличивается, что в свою очередь снижает эффективность и надёжность её передачи. Поэтому модернизация шкафов обогрева для открытых распределительных устройств является неотъемлемой частью обновления электроэнергетической инфраструктуры, позволяющим обеспечить стабильность работы системы электроснабжения и повысить безопасность и эффективность ее функционирования. Шкафы обогрева играют важную роль в поддержании стабильности работы распределительных устройств. Особенно в условиях холодного климата и суровых зимних условий, поддержание оптимальной температуры в шкафах помогает избежать замерзания и образования льда на электрооборудовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Халин М.В., Востриков Е.И. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. Барнаул: Известия Томского политехнического университета, 2012. 53 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОУЧЕТА ДЛЯ ЖИЛЫХ КВАРТАЛОВ Г. БАРНАУЛА

Титов Андрей Артемович, студент группы Э-13, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: andrejtitov6827@gmail.com

Ведманкин Александр Васильевич, старший преподаватель, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: wedmankin.a.w@mail.ru

Рассмотрены вопросы использования автоматизированных систем учета энергии в новых жилых зданиях, основные аспекты и преимущества таких систем. Обращается внимание на важность установки интеллектуальных приборов учета энергопотребления, согласно требованиям Министерства энергетики Российской Федерации. Это позволяет более эффективно контролировать и управлять энергопотреблением, что ведет к снижению расходов на энергию и сбережению ресурсов.

Ключевые слова: АСЭУ, интеллектуальный учет, энергетическая эффективность, измерительное оборудование, технология GSM.

С 1 января 2021 г. все вводимые в эксплуатацию жилые здания обязательно должны оснащаться системами интеллектуального учета потребления электроэнергии, согласно письму Минэнерго РФ от 30 июня 2020 г № 09-2298.

Установка приборов интеллектуального учета позволяет операторам сетей и потребителям более эффективно управлять потреблением электроэнергии, основываясь на более точной информации о расходе и распределении энергии. Точный учет потребления способствует более осознанному использованию электроэнергии и повышению энергосберегающих практик в новых строениях. В конечном итоге, это может привести к меньшему потреблению энергии на уровне отдельных зданий и в целом. Использование приборов интеллектуального учета, также, способствует повышению прозрачности и точности учета энергопотребления, что может быть полезно как для потребителей, так и для операторов энергетических систем.

Наиболее удобным решением будет использование автоматизированной системы энергетического учета (АСЭУ). Она представляет собой набор технологий, программного обеспечения и оборудования, используемых для сбора, обработки, анализа и мониторинга данных о потреблении и производстве энергии в реальном времени. АСЭУ позволяет централизованно управлять и контролировать процессы потребления и генерации энергии в различных системах, таких как промышленные предприятия, торговые центры, офисные здания, государственные учреждения, а также в жилых комплексах и частных домах. В состав АСЭУ входят: измерительное оборудование, сетевая инфраструктура, и центральная система управления [1].

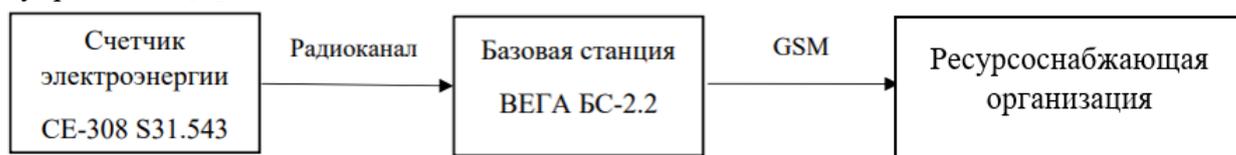


Рисунок 1 – Структурная схема АСЭУ

В качестве измерительного оборудования используется счетчик электроэнергии трехфазный СЕ308 S31.543.OAR2.SYUVJLFZ LR01 SPDS [2]. Он предназначен для измерения различных параметров электрической сети: активной и реактивной электрической энергии, активной, реактивной мощности, частоты, напряжения, коэффициентов активной и

реактивной мощностей, и т.п. В том числе, организации многотарифного учета электроэнергии.

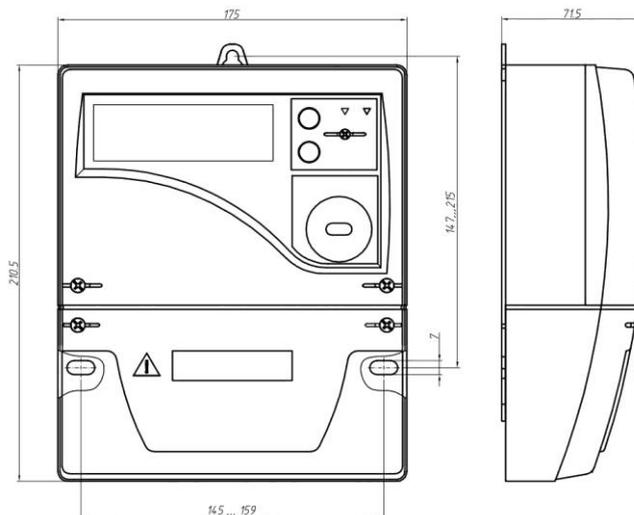


Рисунок 2 – Счетчик электроэнергии трехфазный SE308 S31.543

В качестве сетевой инфраструктуры используется базовая станция Вега БС-2.2. Она располагается на крыше здания, и по принципу прозрачного шлюза, через радиоканал, получает показания с счетчика, и передает данные на сервера ресурсоснабжающей организации. Передача данных на сервера происходит через технологию GSM, так как она имеет ряд преимуществ: для ее работы не требуется использование проводных средств передачи данных. Она имеет высокую степень покрытия, что делает ее доступной для обмена данными практически в любом месте, где есть сотовая связь. Также, сети GSM обеспечивают шифрование и защиту данных, что важно при передаче информации об энергопотреблении и других конфиденциальных параметрах.

Внедрение АСЭУ является важным шагом для повышения энергетической эффективности, снижения затрат на энергию и улучшения управления энергопотреблением. Они позволяют получать точные и надежные данные о расходе энергии в режиме реального времени. Это позволяет эффективно контролировать и управлять энергопотреблением, выявлять и устранять потери энергии и оптимизировать энергетические процессы, что может существенно снизить энергетические издержки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Письмо. Министерство энергетики Российской Федерации. Письмо от 30 июня 2020 г. N 09-2298.
2. Клауснер, В. А. Анализ применения автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии в промышленности / В. А. Клауснер, В. И. Демкин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 5 (347). — С. 33-35

ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ПОВЫШЕНИИ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

Хоренко Павел Евгеньевич, студент группы 8Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: hpe2000@yandex.ru

Федянин Виктор Яковлевич, д. т. н., профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: fedyanin054@mail.ru

Рассмотрены электромагнитное излучение и электромагнитное поле, а также основные физические величины, описывающие электромагнитное поле. Показана значимость электромагнитной индукции и

преобразователей электроэнергии в промышленности и в быту. Рассмотрен трансформатор, как преобразователь электроэнергии, и описана проблема повышения магнитных потерь трансформатора при повышении рабочей частоты.

Ключевые слова: электромагнитная индукция, преобразователь электроэнергии, трансформатор, частота, магнитные потери, электромагнитное поле

Работа большого числа современных устройств и технологий построена на электромагнитном излучении. Электромагнитное поле – это фундаментальное физическое поле, которое описывает взаимодействие между электрически заряженными частицами. Электромагнитное поле состоит из двух компонентов: электрического и магнитного полей, которые связаны друг с другом и образуют единое целое [1]. Электрическое поле возникает при наличии электрических зарядов или ускорении заряженных частиц, а магнитное поле – при движении электрических зарядов и изменении электрического поля во времени. Электромагнитное поле характеризуется непрерывным распределением в пространстве. Ему присущи свойства характерные как для магнитного поля, так и для электрического.

Электромагнитное поле оказывает на электрические заряды q силовое воздействие, которое является основой определения векторных величин, описывающих поле. Этими величинами являются напряженность электрического поля \vec{E} и индукция магнитного поля \vec{B} . Сила, с которой поле действует на точечную заряженную частицу, называется силой Лоренца и выражается формулой:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}], \quad (1)$$

Электромагнитное поле обладает энергией, массой и количеством движения. Наличие у поля массы указывает на инерционность процессов в поле. В зависимости от ситуации, электрическое и магнитное поля могут быть статическими или динамическими. В статическом поле величина заряда и скорость его движения не изменяются со временем, в то время как в динамическом поле эти параметры могут изменяться.

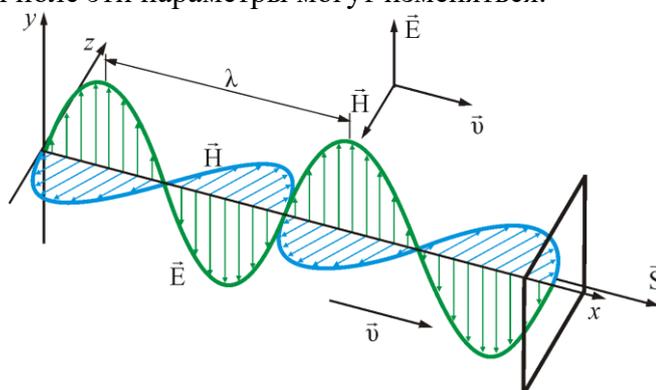


Рисунок 1 – Электромагнитная волна

Электромагнитная волна – это возмущение электромагнитного поля, распространяющееся в пространстве. Схематически электромагнитная волна представлена на рисунке 1. Электромагнитные поля играют важную роль во многих явлениях природы, таких как свет, радиоволны, микроволны, инфракрасное излучение, рентгеновские лучи и гамма-лучи [2]. Они также используются в различных технических сферах, таких как радиосвязь, телевидение, мобильная связь, микроволновые печи и магнитно-резонансная томография (МРТ). Шкала электромагнитных волн представлена на рисунке 2.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром.

Математически его можно описать с помощью закона Фарадея [3]:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

где ε_i – ЭДС индукции [В];

$\Delta\Phi/\Delta t$ – скорость изменения магнитного потока.

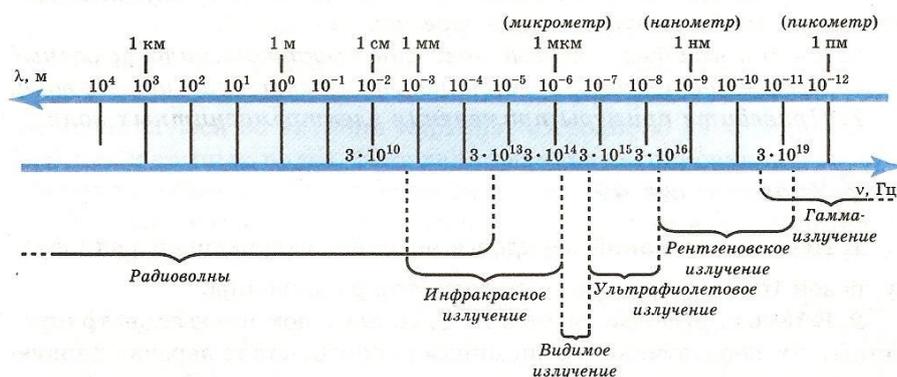


Рисунок 2 – Шкала электромагнитных волн

На явлении электромагнитной индукции основана работа множества преобразователей электроэнергии, например, трансформатора, являющегося одним из наиболее распространенных преобразователей. Преобразователи электрической энергии являются одними из наиболее востребованных и распространенных устройств в электронике и радиотехнике. Преобразователи электрической энергии – это обширный класс устройств и приборов, основанных на различных физических явлениях и имеющих разнообразные цели и задачи. К преобразователям электроэнергии относятся: выпрямители, инверторы, преобразователи частоты, автономные инверторы тока или напряжения, регуляторы напряжения, двухтактные индуктивные преобразователи, преобразователи плунжерного типа, силовые сглаживающие фильтры, умножители напряжения, стабилизаторы, трансформаторы и так далее [4].

В наше время трансформаторы широко используются в различных отраслях промышленности и в повседневной жизни. Силовые электрические трансформаторы нужны для предварительного повышения напряжения на подстанциях для понижения процента потерь, чтобы затем передавать на большие расстояния переменный ток по линиям электропередач, а затем понижать это напряжение для использования потребителем. Существуют также малогабаритные трансформаторы, которые применяют в радиоприемниках, телефонах, телевизорах, магнитофонах и т.д. Также трансформаторы используются для создания гальванических развязок, поскольку обмотки трансформатора не связаны напрямую электрически. Сфера использования трансформаторов очень обширна, благодаря их эффективности и надежности. КПД трансформатора может достигать 95-99%. Так как трансформатор является статическим электромагнитным устройством, он не имеет движущихся частей, соответственно, в нем отсутствуют механические потери. Потери в трансформаторе связаны с активной мощностью, часть энергии теряется в обмотках, тратится на вихревые и циклические токи, часть энергии теряется в магнитопроводе и конструктивных частях.

Основными проблемами нынешних трансформаторов являются мощность-габаритные характеристики, так, например, при повышении частоты в трансформаторе до 1000Гц, мощность увеличивается в несколько раз, но снижается эффективность, устройство не передаёт электромагнитную энергию, а накапливает её, что приводит к росту температуры и магнитным потерям. Приходится увеличивать его габариты, что приводит к удорожанию его производства. На токах высокой частоты стандартные трансформаторы перегреваются, что приводит к более скорому старению изоляции и межвитковым замыканиям.

Существует несколько причин такой проблемы. Ниже приведены некоторые из них.

Увеличение потерь на вихревые токи: чем выше частота, тем больше количество колебаний магнитного поля в единицу времени. Это приводит к образованию вихревых токов в сердечнике трансформатора, которые, в свою очередь, вызывают дополнительные потери энергии.

Уменьшение эффективности охлаждения: при повышении частоты магнитное поле становится более локализованным, что затрудняет отвод тепла через охлаждающую среду (масло или воздух). В результате температура сердечника повышается, что также ведет к увеличению потерь.

Проблемы с насыщением сердечника: при высокой частоте магнитный поток может стать настолько сильным, что сердечник трансформатора начинает насыщаться. Это приводит к искажению формы волны магнитного потока и увеличению потерь на гистерезис (потери, связанные с перемагничиванием сердечника).

Потери в вихревых токах вызваны электромагнитными взаимодействиями между обмотками и сердечником трансформатора, а потери на перемагничивание связаны с изменением магнитного поля в сердечнике трансформатора при изменении частоты. При повышении частоты, потери в вихревых токах увеличиваются за счет увеличения плотности магнитного потока, в то же время, потери на перемагничивание увеличиваются из-за того, что магнитное поле меняется быстрее, и материал сердечника не успевает ориентироваться по магнитному полю.

Из всего вышеописанного следует, что электромагнитное излучение является неотъемлемой и важной частью жизни современного человека так же, как и устройства, работающие на его основе. Электронные устройства и приборы получили широкое распространение, в том числе и преобразователи электрической энергии. Несмотря на свои достоинства, преобразователи электроэнергии обладают рядом недостатков, которые понижают эффективность их работы.

Чтобы снизить потери трансформатора при повышении частоты, можно использовать специальные материалы для сердечника, которые имеют более высокую электрическую проводимость и магнитную проницаемость (магнитомягкие материалы). Также можно использовать определенные формы и конструкции проводников, которые могут снижать эффект вихревых токов.

Расширение элементной базы, поиск новых методов и технологий, разработка и исследование устройств, которые будут обеспечивать надежную, эффективную, быструю и экономичную работу, является актуальной и важной задачей. В частности, актуальной является задача создания трансформатора с низкими магнитными потерями для работы с током высокой частоты без увеличения габаритов устройства. В настоящее время в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова ведется работа по разработке устройства, способного решить поставленную задачу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи [Текст]: Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов.—7-е изд. / Бессонов Л. А., перераб. и доп.— М.: Высш. школа, 2008. — 528 с.
2. Электромагнитные волны. Свойства, влияние на организм, защита [Электронный ресурс] // profgbo.ru. — Электрон. дан. — Режим доступа: <https://profgbo.ru/theory/gamma-izlucenie-g-cto-eto-takoe-istocniki-dlina-volny-castota-svoystva-primenenie.html> (Дата обращения: 03.11.2023).
3. Тамм И. Е. Основы теории электричества: Учеб. пособие для вузов. — 11-е изд. испр. и доп. / И. Е. Тамм — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 616 с. — ISBN 5-9221-0313-х.
4. Волков, В.Л. Моделирование процессов и систем в приборостроении: Учебное пособие. / В.Л. Волков — Арзамас, АПИ НГТУ, 2008. —143 с.

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА УДАЛЕННЫХ ВОДОЗАБОРАХ

Шумский Денис Валерьевич, студент группы 8Э-23, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: d_shumskiy@mail.ru
Стальная М.И., к. т. н., профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: temf@yandex.ru

Рассмотрено эффективное использование преобразователя частоты (ПЧ) на удаленных водозаборах с акцентом на оптимизации водоснабжения и снижении энергопотребления. Обсуждалось применение ПЧ для адаптации к изменениям потока воды, уменьшения затрат на электроэнергию и использование регуляторов ПИД для эффективного управления давлением. Дистанционный мониторинг и управление с ПЧ представляют потенциал для снижения эксплуатационных расходов и повышения эффективности систем водоснабжения.

Ключевые слова: преобразователь частоты, водозабор, ПИД-регулятор, давления, SCADA-система, диспетчеризация.

Водоснабжение и обеспечение доступом к чистой питьевой воде являются ключевыми аспектами обеспечения жизни и здоровья нашего общества. Большая часть электрической энергии, используемая объектами водоснабжения, потребляется электроприводами насосных установок. По усредненным данным стоимость электроэнергии в общей сумме эксплуатационных расходов на водопроводно-канализационных предприятиях в случае использования поверхностных вод составляет 40-50%. При использовании подземных вод этот показатель увеличивается до 70-80% [1]. Однако удаленные водозаборы, которые часто находятся в отдаленных и труднодоступных местах, сталкиваются с рядом технических и эксплуатационных вызовов. Одним из ключевых инновационных решений для оптимизации эффективности работы удаленных водозаборов является использование преобразователей частоты (ПЧ) для электроприводов насосных агрегатов. Эти устройства позволяют регулировать скорость вращения насосов и другого оборудования, обеспечивая оптимальное потребление энергии и снижение уровня аварийности в системе. В настоящее время происходит активное внедрение частотно-регулируемых приводов в области водоснабжения как городских, так и сельских районов.

Эффективное использование преобразователей частоты на удаленных водозаборах представляет собой многогранный исследовательский вопрос, охватывающий аспекты технической инженерии и экономики.

Научная литература и инженерные практики демонстрируют разнообразные пути для оптимизации работы удаленных водозаборных систем с использованием преобразователей частоты. Такие системы могут быть настроены для адаптации к изменяющимся потокам воды, поддержания постоянного давления в системе, улучшения эффективности насосов и снижения их износа и потерь [2].

Использование преобразователей частоты способствует экономии электрической энергии, позволяет снизить аварийность благодаря плавному пуску и останову насосных агрегатов, обеспечивает в сети водоснабжения заданный уровень давления воды, что способствует их всестороннему внедрению, но прогресс не стоит на месте и уже сейчас на многих современных насосных станциях устанавливаются устройства удаленного мониторинга за параметрами работы системы, в качестве которых могут выступать GSM-модемы, Wi-Fi-антенны, которые позволяют собирать большие объемы информации о работе станций и судить о текущем состоянии сети водоснабжения, в том числе используя ретроспективную информацию и алгоритмы автоматической диагностики порывов в трассах водоснабжения и водоотведения.

Эффективное регулирование энергопотребления может привести к существенным снижениям затрат на электроэнергию. При снижении частоты на 15 Гц снижается электропотребление на 27%. Однако регулирование частоты может происходить в определенном промежутке значений. Для приводов с номинальной частотой 50 Гц снижение

на более 15 Гц может повлечь за собой перегрев двигателя и его поломку. В зависимости от мощности привода и соответствующего преобразователя частоты уменьшается срок окупаемости ПЧ, что может составить менее 4 месяцев использования в системе водоснабжения [3]. На рисунке 1 представлено схематическое обозначение работы преобразователя частоты в системе насоса водозабора.

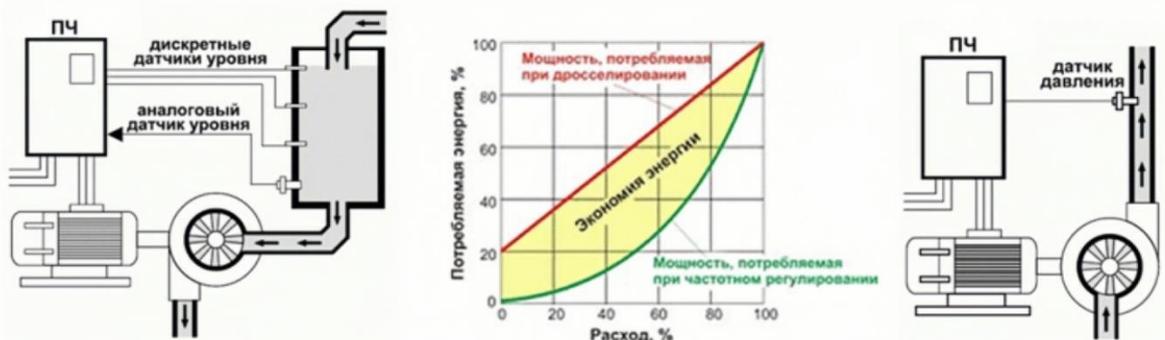


Рисунок 1 – Работа системы ПЧ-насос с графиком экономии энергии

Для поддержания необходимого давления и его регулирования из-за динамического изменения потребления воды в системе водоснабжения используется обратная связь по давлению. Реализуется эта связь за счет преобразователя давления, также называемого датчик давления. Аналоговый прибор, который преобразует значение давления в аналоговую величину, умеющую на выходе 4-20 мА. Датчик подключается к аналоговому входу преобразователя частоты, обеспечивая ему обратную связь по давлению в трассе, позволяя работать, обычно, внутреннему ПИД-регулятору.

Пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор предоставляет собой устройство, управляющий сигнал которого, формируется из трех слагаемых на основе обратной связи, входного сигнала и заложенных в устройстве коэффициентов, соответствующих каждому слагаемому. Первое слагаемое является пропорциональным разности входного сигнала и сигнала обратной связи. Второе слагаемое пропорционально интегралу сигналу рассогласования. Третье слагаемое является производной сигнала рассогласования. ПИД-регулятор может работать как по положительному, так и по отрицательному закону регулирования. В случае с положительным законом при увеличении сигнала обратной связи, увеличивается выходной сигнал, при отрицательном законе ситуация обратная [4].

Пропорционально-интегрально-дифференцирующий является наиболее универсальным регулятором, однако для корректной работы системы необходимо чтобы коэффициенты у трех слагаемых регулятора подходили под конкретную систему с учетом ее инертности и других характеристик. При подходящей настройке коэффициентов ПИД возможно значительно повысить эффективность работы привода как в экономическом плане (снижение потребления энергии), так и в эксплуатационном плане (повышение стабильности поддерживаемого давления в трассе). На рисунке 2 представлена работа регулятора с использованием различных коэффициентов ПИД.

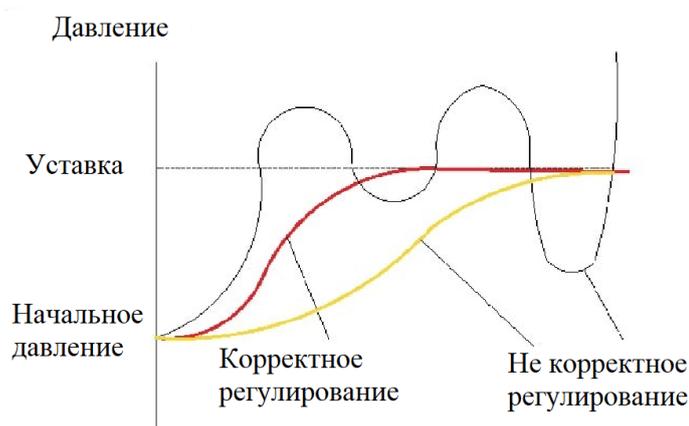


Рисунок 2 – Работа ПИД-регулятора с различными коэффициентами

При не корректном регулировании (неправильно подобраны коэффициенты) работа привода будет нестабильна и может раскачивать систему сильно повышая и понижая выходное давление, или же привести к долгому разгону привода. Все эти факторы влияют на снижение эффективности работы водозабора.

Поэтому необходимо собрать и проанализировать данные по динамически изменяющемуся уровню потребления с помощью мониторинга систем водозабора, возможно собрать.

Поэтому необходимо собрать и проанализировать данные, полученные путем формирования трендов и отчетов на SCADA системах удаленного мониторинга водозаборов, по динамическому изменению уровня потребления.

На основе анализа данных выводятся необходимые коэффициенты ПИД-регулятора, которые можно динамически изменять в течении дня и недели, используя более благоприятные значения под активность пользователей рассматриваемых водозаборов. Таким образом можно составить таблицу коэффициентов, которые будут дистанционно устанавливаться в регулятор преобразователя частоты без вмешательства диспетчерского или другого специализированного персонала, тем самым снизив затраты на диспетчеризацию и расход электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Манзак, Д. Ю., Новиков, В. С. Оптимизация работы насосных станций в системах водоснабжения с использованием преобразователей частоты // Энергосбережение и энергоаудит, Москва – 2018 , 6, 43-50 с.
2. Ганиев Р.Н. Повышение энергетических показателей сетевого входа электроприводов с помощью активных выпрямителей в составе преобразователей частоты // Вестник Чувашского университета. - 2022. № 1.-С. 44-52. РОЕ 10.47026/810-1909-2022-1-44-52.
3. Шумский Д.В. Повышение энергетической эффективности электроприводов // Наука и молодежь : Том 1. Инженерно-технические науки, часть 1 : материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (17–21 апреля 2023 года, г. Барнаул) / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул : АлтГТУ, 2023. – 438 с. – URL : https://journal.altstu.ru/konf_2023/2023_1/121/ – Текст : электронный. – 311 с.
4. Никитенко, Г. В. Электропривод производственных механизмов : учебное пособие / Г. В. Никитенко. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-1468-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211193> (дата обращения: 13.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

СЕКЦИЯ «НАДЕЖНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Балашов Николай Андреевич, студент группы Э-14, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: qwerty.ogkinc20153011@gmail.com
Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

Обслуживание воздушных линий электропередачи чрезвычайно опасно. Современным подходом к эксплуатации ЛЭП является использование роботизированных систем. Беспилотные летательные аппараты позволяют проводить контактную диагностику, локальный ремонт и техническое обслуживание.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, линии электропередач, беспилотные летательные аппараты, эксплуатация, безопасность.

Эффективная эксплуатация воздушных линий электропередачи требует своевременного технического обслуживания, в которое входят плановые и внеплановые осмотры, профилактические проверки и устранение незначительных неисправностей. Благодаря своевременному обнаружению и устранению этих неисправностей, можно предотвратить проблемы, которые могут привести к серьёзным сбоям в передаче электроэнергии. Работы по обслуживанию линий электропередачи являются особенно сложными и опасными с точки зрения обеспечения безопасных условий труда. Рабочее место расположено на большой высоте, сотрудники обслуживающего персонала расположены на значительном расстоянии друг от друга и, как следствие, контроль за безопасностью их труда весьма затруднён.

Беспилотные летательные аппараты с ростом их популярности получают большое распространение как в России, так и за рубежом [1]. С ростом их популярности стало возможным их применение в сфере электроэнергетики, а именно при обслуживании линий электропередачи, поскольку, в отличие от электромонтёров, которые обслуживают ЛЭП, оператор дрона, по большому счёту, находится в безопасности, а также взаимодействие ремонтного персонала с высоковольтной линией сведено к минимуму, насколько это возможно.

Во многих странах беспилотные летательные аппараты уже пользуются популярностью при эксплуатации высоковольтных линий электропередачи. К примеру, в Китае в энергосистеме городского округа Цинъюань применяется более 100 дронов. Их применение не только позволило снизить эксплуатационные риски, но и свести к минимуму ошибки, связанные с работами обслуживающего персонала [2].

В России беспилотные летательные аппараты получили распространение не только как обособленные устройства, предназначенные для наблюдения, но и при формировании роботизированных комплексов, предназначенных для безопасного и быстрого обслуживания воздушных линий электропередачи. Одним из таких комплексов является «Канатоход» - инновационный цифровой роботизированный инструмент для диагностики и обслуживания линий электропередачи под напряжением в режиме реального времени, повышающий эффективность работы электрических сетей. В состав системы «Канатоход» входит три беспилотных летательных аппарата:

- «Стрекоза» - платформа, необходимая для диагностики повреждений на линии;
- «Паук» - платформа, необходимая для технического обслуживания;

– «Оса» - платформа, необходимая для ремонта проводов и грозозащитного троса линии.

В комплекс «Канатоход» входят все необходимые модули для обследования линий электропередачи и их локального ремонта [3]. Это очень удобный и эффективный подход к эксплуатации линий электропередачи. Комплекс гораздо быстрее обнаруживает повреждения и исправляет их в сравнении с бригадой ремонтного персонала. К тому же, операции осуществляются без непосредственного участия ремонтного персонала, следовательно, гораздо повышается безопасность при эксплуатации линии.

Роботизация является перспективным направлением повышения безопасности эксплуатации линий электропередач. На примере рассмотренного комплекса «Канатоход» мы видим, что использование роботизированных систем является очень эффективным способом обеспечения безопасной эксплуатации линий электропередачи – они могут выполнять комплексное обслуживание линии под напряжением, в условиях большого риска для здоровья и жизни человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов Д.А., Галиева Т.Г. Диагностика воздушных линий электропередачи роботизированными комплексами и беспилотными летательными аппаратами. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43098298> (дата обращения: 12.11.2023).

2. Работа дронов на линиях электропередач // Электрические сети : [сайт]. – URL: <https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tehnologii-svjaz-izmereniya/7265/> (дата обращения 12.11.2023)

3. Канатоход — робототехника для энергетики. – Текст: электронный // Eepir.ru : Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – 23 июня. – URL: <https://eepir.ru/article/kanatohod-nbsp-robototekhnika-dlya-energetiki/>

КОНЦЕПЦИЯ УСТРОЙСТВА БОРЬБЫ С ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМИ

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

Овсеян Ваник Александрович, инженер-электрик ООО "Союзэнергопроект", e-mail: ovsepyanvanik@yandex.ru

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

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

Определены важные тенденции в развитии народного хозяйства и быта России и мира – рост как потребления электроэнергии, так и доли электроэнергии в общем энергопотреблении, а также широкое внедрение цифровых технологий и устройств. Выявлена серьезная угроза функционированию таких устройств – перенапряжения, которые весьма негативно воздействуют на микроэлектронику. В связи с этим возникает необходимость в обеспечении надежной защиты данных приборов от перенапряжений. Определено, что существующие аппараты защиты от перенапряжений не подходят для данной задачи, ввиду чего предложена концепция нового устройства.

Ключевые слова: электроэнергия, микроэлектроника, перенапряжение, устройства защиты, биполярный транзистор с изолированным затвором.

В настоящее время важную роль в жизни государства и общества играет тенденция к увеличению потребления электроэнергии (ЭЭ). Этому способствует рост городов и развитие промышленности. Также растёт доля ЭЭ в энергопотреблении – происходит широкое внедрение современных цифровых технологий в различные сферы жизни и производства. Цифровизация открывает широкий простор для развития и совершенствования различных

аспектов быта и народного хозяйства [1]. Однако, вместе с этим, внедрение цифровых устройств, наряду с новыми возможностями, содержит и определённые риски. Так, для внедрения таких технологий необходимо большое количество цифровых компьютерных устройств, которые слабо устойчивы к такому явлению, как перенапряжения. Учитывая стоимость подобных устройств и пагубность воздействия на них перенапряжений, встаёт вопрос о надёжной защите электронных устройств от перенапряжений.

Перенапряжением называют любое превышение допустимого значения напряжения на изоляции элементов электрической сети. На данный момент существует целый ряд устройств для борьбы с перенапряжениями. В электрических сетях применяются искровые промежутки, различного рода разрядники, нелинейные ограничители перенапряжений; в бытовых и промышленных сетях применяются устройства защиты от импульсных перенапряжений. Однако данные устройства обладают недостаточным быстродействием и высоким порогом срабатывания для защиты микроэлектроники [2].

В связи с этим возникает необходимость в разработке нового устройства, которое позволит обеспечить быстродействующую защиту электронной аппаратуры от перенапряжений. Среди прочего, новое устройство должно обладать достаточной надёжностью, а также простотой конструкции.

Для этого в ходе научных изысканий была предложена концепция нового устройства защиты, в основе которого лежит применение силовых полупроводниковых элементов. Таким образом, создаваемое устройство будет представлять собой аппарат, который условно можно разделить на три блока – структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

Основной блок носит название «Силовой ключ» и содержит биполярный транзистор с изолированным затвором, силовым ключом управляет блок порогового напряжения, а для питания этих блоков предусматривается т. н. блок питания.

Как уже было отмечено, основу устройства составляет биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ) или чаще встречающееся именование IGBT – от англ. Insolated Gate Bipolar Transistor. В настоящее время IGBT получили широкое распространение в различных устройствах преобразования тока и напряжения. По сути своей БТИЗ является объединением полевого и биполярного транзисторов – первый как бы управляет вторым [3].

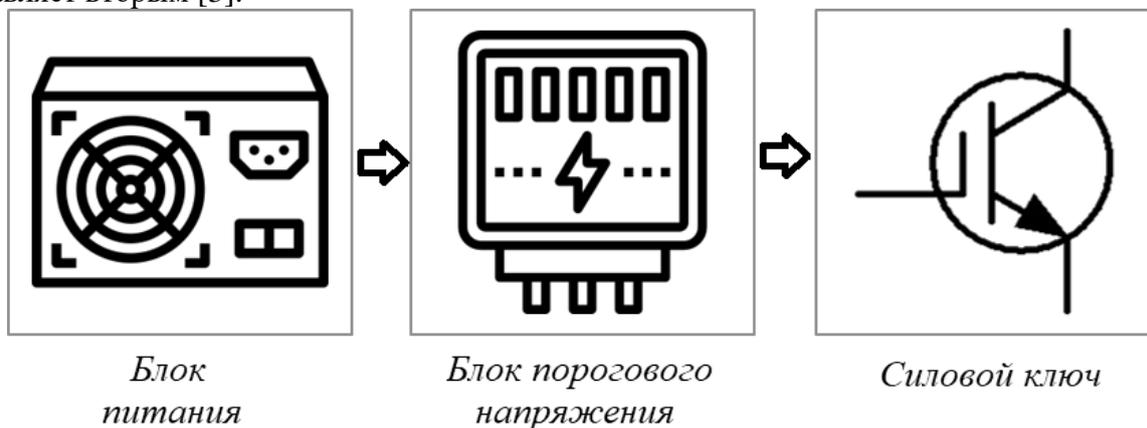


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемого устройства

Благодаря этому такие транзисторы сочетают в себе достоинства силовых биполярных и полевых транзисторов с изолированным затвором, к которым можно отнести [4]:

- небольшая мощность управления;
- высокое быстродействие;
- небольшие потери в открытом состоянии;
- высокое номинальное напряжение силового канала.

За счёт использования данного полупроводникового элемента предполагается достичь высоких показателей быстродействия устройства, однако этому способствует применение оригинальной конструкции блока управления, что, в свою очередь, также позволит обеспечить прекращение работы разрабатываемого устройства при снижении уровня перенапряжения ниже заданного.

Таким образом, можно заключить, что ввиду бурного развития микроэлектронной техники и её внедрения в промышленном и бытовом секторах, а также в связи с низкой устойчивостью такой аппаратуры к перенапряжениям возникает необходимость в обеспечении надёжной защиты компьютерных устройств от перенапряжений, причем крайне важным аспектом является быстродействие защитной аппаратуры. К сожалению, большинство ныне используемых устройств защиты не отвечает данному требованию, ввиду чего возникает необходимость в разработке нового, быстродействующего ограничителя перенапряжения. Предложенная в ходе научных изысканий концепция нового устройства защиты способна удовлетворить вышеуказанные требования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция «Цифровая трансформация 2030» Публичного акционерного общества «Россети». – Москва : [б. и.], 2018 - . - URL: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения: 02.04.2023).
2. Титков, В. В. Перенапряжения и молниезащита: Учебное пособие / В. В. Титков, Ф. Х. Халилов. – 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 224 с. – ISBN 978-5-8114-2286-9.
3. Справочник по силовой электронике / Ю. К. Розанов, П. А. Воронин, С. Е. Рывкин, Е. Е. Чаплыгин ; под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 472 с. – ISBN 978-5-383-00872-0.
4. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семенов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с. – ISBN 5-98003-223-1.

СПОСОБЫ РАЗМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Конев Евгений Максимович, инженер-электрик, ООО «Алтайские моторы», e-mail: konev_em@mail.ru

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

На базе Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова был разработан новый метод оценки степени загрязнения трансформаторного масла в маслонаполненных электроустановках. После опытного подтверждения теории о возможности применения ёмкостного датчика приближения, для оценки состояния трансформаторного масла, необходимы опытные испытания на действующих электроустановках. В данной работе проанализированы технические решения, по возможности размещения устройства непрерывного дистанционного контроля состояния масла на маслонаполненном трансформаторе.

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

Развитие цифровых технологий и внедрение их в промышленность позволяет существенно увеличить надежность работы электроэнергетического комплекса России [1]. Несмотря на санкции и уход с рынка большого количества компаний, занимающихся производством и поставкой современного оборудования и технологий, развитие цифровизации и автоматизации в стране только увеличилось и продолжает расти огромными

темпами. В данный момент к модернизации электрических сетей страны привлечены не только электросетевые компании, но и частные предприятия, а также высшие учебные заведения, разрабатывающие новые технологии, которые должны повысить надежность, безопасность и экономичность генерации, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

На базе Алтайского государственного технического университета им И.И. Ползунова был разработан новый метод диагностики состояния трансформаторного масла в маслonaполненных электроустановках [2]. Под состоянием масла понимается комплексный параметр его химических и физических свойств, который зависит от старения, количества нерастворимых и растворимых примесей, окисления, влагосодержания, поляризации трансформаторного масла [3]. Состояние трансформаторного масла, а значит величину его комплексного параметра можно оценить с помощью диэлектрической проницаемости. Проводимые анализы методических материалов показали, что любое изменение химических и физических свойств трансформаторного масла в большей или меньшей степени влияет на диэлектрическую проницаемость масла. Изменение данного параметра предлагается фиксировать с помощью бесконтактного ёмкостного датчика приближения. Работа устройства основана на фиксации и замыкании контакта при повышении электрической ёмкости, создаваемой обкладками датчика. Возможность применения ёмкостного датчика приближения в новом методе непрерывного контроля была опытным путём доказана в Алтайской государственной технической университете им И.И. Ползунова.

После успешного подтверждения гипотезы, о возможности оценивать состояния трансформаторного новым методом, встал вопрос о внедрении устройства, позволяющего производить измерения, в действующие электроустановки. Для выбора наиболее удачного технического решения о размещении датчика, маслonaполненный трансформатор был разделён на три условные зоны: нижняя, средняя, верхняя. Далее в статье будут рассмотрены преимущества и недостатки данных технических решений.

Нижняя зона размещения датчика – дно бака трансформатора. Изначально предполагалась установка датчика в словное отверстие на дне бака трансформатора. Данный вариант позволит избежать лишнего сверления конструкции и, соответственно, даст возможность модернизировать электроустановку в ходе плановой замены трансформаторного масла, без дополнительных сложностей. Но, даже не смотря на очевидный вопрос к надежности герметизации данного размещения, есть более серьезный недостаток данного технического решения – это нерастворимые осадки, которые неизбежно в относительно большом количестве будут находиться именно на дне бака. Так как принцип работы датчика основан на изменении электрической ёмкости между обкладками чувствительной поверхности, оседание на данных обкладках твердых веществ в может вызывать ложные срабатывания. Наибольшая циркуляция масла происходит в периоды пиковых нагрузок, в ночное время суток нагрузка существенно снижается, и основное количество примесей оседает на поверхности датчика. Так как это самое дно бака, а основной нагрев происходит именно в обмотках и магнитопроводе трансформатора, то и основная циркуляция происходит именно в данной зоне, а значит все осадки, которые оказались на датчике, не будут устраниваться потоками нагретого масла и со временем начнут вызывать ложные срабатывания.

Средняя зона размещения датчика – боковая стенка бака трансформатора. Данный вариант установки датчика в меньшей степени подвержен влиянию процесса, описанного ранее, так как датчик находится в центре электроустановке и расположен горизонтально. Такой вариант размещения, по нашему мнению, будет иметь наименьшее влияние сторонних факторов на точность и надёжность работы. Основным недостатком такого технического решения является конструкция устройства непрерывного контроля. Ранее в тексте упоминались датчик и устройство непрерывного контроля. Данной разделением не случайно. Трансформаторное масло – очень хороший жидкий диэлектрик, который сохраняет свои

свойства даже при сильном загрязнении, устаревании и т.д. В ходе экспериментов датчик не просто погружался в трансформаторное масло, на фиксированном расстоянии от чувствительной поверхности располагалась металлическая пластина, для гарантированного срабатывания прибора. По этой причине на данном этапе проработки конструкция устройства непрерывного контроля включает в себя не только ёмкостный датчик, но также тонкую пластину из токопроводящего материала и крепёжную конструкцию из пластика или композитных материалов. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что данное устройство будет иметь увеличенный габарит, что может стать проблемой при его монтаже.

Верхняя зона размещения датчика – крышка бака трансформатора. Данный вариант установки лишён проблем средней и нижней условных зон, так как есть больше пространства, для установки датчика, и проблема с осадками полностью отсутствует. Также, по нашему мнению, данное техническое решение наиболее удобное с точки зрения проведения монтажных работ. Но оно не лишено недостатков. Основным недостатком данного варианта размещения – температура масла. Как известно, наибольшая температура трансформаторного масла под крышкой трансформатора. Диэлектрическая проницаемость трансформаторного масла нелинейно зависит от его температуры. Следствием этого могут стать ложные срабатывания датчика в моменты пиковых нагрузок.

Подводя итоги данной работы, можно выделить, что все варианты размещения устройства непрерывного контроля состояния трансформаторного масла имеют недостатки, которые нельзя оставлять без внимания. На данном этапе, наиболее перспективным техническим решением мы видим интеграцию устройства в крышку бака. Перспективными направлениями развития данной тематики являются:

- установление точной математической модели изменения диэлектрической проницаемости трансформаторного масла в зависимости от изменения температуры масла;
- более детальная проработка и проектирование опытного образца устройства в сборе;
- представление данной разработки заводам изготовителям, с целью получения их комментариев, замечаний, критики и рекомендаций, относительно устройства, его работы и места его размещения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р // Министерство энергетики РФ: [minenergo.gov.ru] – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (Дата обращения: 24.10.23).
2. Конев Е. М., Компанец Б. С. Непрерывный контроль состояния маслonaполненного оборудования // Ползуновский альманах. 2023. № 2-2. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54101789> (Дата обращения: 24.10.23).
3. Конев Е. М., Компанец Б. С. Анализ влияния основных факторов на состояние трансформаторного масла // XXIV городская научно-практическая конференция молодых ученых «Молодежь – Барнаулу», 02.11.2022 г. Барнаул.

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ОСНОВНУЮ СЕТЬ ПИТАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Корюгин Георгий Вячеславович, студент группы 8Э-32, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: 2013ujif@mail.ru

Ткаченко Данил Алексеевич, специалист 1 категории отдела технологического развития, инновация, энергосбережения и повышения энергетической эффективности, филиал ПАО "Россети Сибирь" - "Алтайэнерго", e-mail: tdanil842@gmail.com

Статья посвящена вопросам эффективности внедрения солнечных электростанций (СЭС) в систему электроснабжения Российской Федерации в частности и внедрения СЭС в целом. Рассмотрены показатели эффективности выработки энергии для различных случаев её применения в разных условиях и влияние как самой выработки, так и её недостатки на эффективность работы системы электроснабжения. Предложены пути решения ряда проблем, связанных с эксплуатацией СЭС и ограничения таких решений в условиях протяжённости линий электроснабжения в Российской Федерации.

Ключевые слова: солнечная генерация, фотоэлементы, аккумуляторы, электростанции, стоимость солнечной энергии.

Считается, что солнечная энергия в теории позволяет получать с каждого квадратного метра по 1360 – 1370 Ватт энергии [1], а на поверхности земли с её помощью можно получить только до 1000 Ватт при условии чистой погоды и нахождения на экваторе, что уменьшает места эффективного использования солнечной генерации. КПД самых распространённых кремниевых фотоэлементов не превышает 20%, а более сложные многослойные могут продемонстрировать 30 – 43%. Для подсчёта эффективной мощности используют годовую инсоляцию, которая учитывает, будут ли панели, меня наклон, следовать за солнцем или же будут закреплены под оптимальным углом. Это даёт понимание, сколько электричества можно будет выработать за год в среднем в кВт*ч/м² без учёта непогоды.

Кроме полупроводниковых фотоэлементов можно концентрировать падающие лучи на солнечный коллектор, где тепло преобразуется в электроэнергию посредством нагрева воды и перехода в пар, для последующего использования в турбинах как на тепловых станциях. КПД таких установок уже может достигать 20-30% от солнечной постоянной на поверхности. Но такие системы не функционируют при рассеянном свете, и тогда выработка энергии падает до нуля, так как зеркало не может фокусировать рассеянный свет. Ещё такие системы нерентабельно устанавливать в регионах, где температура воздуха может опускаться ниже нуля в дневное время суток из-за роста потерь при естественном охлаждении.

Одной из главных проблем солнечной генерации является то, что выработка электроэнергии происходит только в дневное время суток. Это означает, что если мы не аккумулируем энергию, то топливные электростанции на вечерний пик потребления придётся все равно строить, а днём часть их мощностей должна находиться в горячем резерве, можно было мгновенно заместить просадку мощности на солнечной электростанции (СЭС) на случай непогоды. Выходит, что получаемая электроэнергия от солнечных электростанций определяется внешними условиями, а не необходимостью выработки. Что влечёт за собой необходимость нести затраты на классических электростанциях.

Рассчитаем стоимость при запасе энергии в аккумулирующих системах. Если представить, что солнечная батарея мощностью 1 Ватт стоит 40 рублей, и в день она сгенерирует 8 Вт*ч электричества за 8 солнечных часов, то, следовательно, нам понадобится аккумуляторов на 640 рублей, если считать по 80 рублей за 1 Ватт*час литий-ионный аккумулятор [2]. Выходит, что аккумулятор получается в 16 раз дороже солнечной батареи и ещё нужно учитывать, что через 3000 циклов заряд-разряд аккумулятор придётся заменить. Можно использовать свинцово-кислотные аккумуляторы, которые гораздо дешевле. Оптовая цена составляет 8 рублей за Ватт*час, соответственно, на сохранение дневной выработки нам нужно аккумуляторов на 64 рублей, что снова больше стоимости самих солнечных батарей. Свинцово-кислотные аккумуляторы имеют меньшее количество циклов заряд-разряд, хватит 3-6 лет службы в режиме половины разряда. При этом КПД свинцовых аккумуляторов ниже 70%, то есть четверть энергии теряется в цикле заряд-разряд. Ещё набирает популярность использования литий-железо-фосфатных аккумуляторов, у которых количество циклов заряд-разряд до потери 20% ёмкости составляет от 2 000 до 7 000. Но рабочее напряжение всего 3.2 Вольт, что предполагает использованию контроллеров балансиров. Стоимость выходит в районе 60 рублей за 1 Ватт*час.

Ещё одной важной частью при хранении энергии будут солнечные контроллеры и инверторы. Контроллеры регулируют выходное напряжение с солнечных элементов, поддерживая на уровне, которое будет достаточным для зарядки аккумуляторов и использовании в инверторе. Инвертор в свою очередь необходим для конвертирования постоянного напряжения солнечных элементов и аккумуляторов в переменное 220 вольт, для использования в бытовых приборах.

Если использование электрических аккумуляторов не представляется возможным, то в некоторых районах можно сохранять энергию с помощью гидроаккумулирующих электростанций, которые днём закачиваем воду в резервуар насосом, а ночью работают как обычная гидроэлектростанция, при КПД до 90%. Но их строительство также обходится дорого, и не везде возможно. Из-за того, что аккумуляторы получаются дороже самой СЭС, то в крупных электростанциях их не предусматривают, продавая электричество в распределительную сеть сразу по мере генерации, рассчитывая ночью и вечером на обычные электростанции.

Внедрение СЭС позволяет снизить нагрузку на ГЭС и другие мощности, однако это не всегда можно выполнить эффективно, потому что важна топография размещения мощностей. Если СЭС и ГЭС расположены недалеко друг от друга, то при компенсации скачков выработки от СЭС не происходит больших потерь энергии во время её перетоков в сети электроснабжения. Однако не всегда возможно разместить СЭС рядом с ГЭС. Кроме того, важно увеличивать выработку непосредственно рядом с потребителем. А в этом случае важно понять, не приведут ли скачки выработки мощности от СЭС к увеличению потерь в линиях из-за большого удаления от компенсирующих синхронных генераторов ГЭС. Всегда ли будет наблюдаться такое увеличение потерь, или же возможны эффективные варианты размещения СЭС в сети? Например, страны ЕС отличаются меньшей протяжённостью системы электроснабжения и в их случае это возможно. В России же в большинстве случаев высокая протяжённость линий даёт другие преимущества: в частности, отсутствие необходимости суточного регулирования выработки. Компенсация возможных негативных эффектов от работы СЭС может быть обеспечена локально за счёт горячего резерва ТЭЦ. Но это не очень выгодно. Однако, анализ данной проблемы может дать хорошие результаты.

Таким образом, использование системы энергоснабжения на солнечной энергии для потребителей содержит много проблем и недостатков для интеграции в электроснабжение, но имеет перспективы для компенсации электроэнергии за счёт собственной её генерации в местах, неподключенных к основной магистрали питания, а также для резервирования электроэнергии и уменьшения объёма использования исчерпаемых энергетических ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Солнечная энергетика: надежда человечества? Хабр [Электронный ресурс] : 2023. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/158875/> – Загл. с экрана.
2. Воробьева, С.Н. Оценка экономической целесообразности использования различных видов энергии при снабжении автономных потребителей в Алтайском крае и Республике Алтай / С.Е. Антропова, С.Н. Воробьева, Н.П. Воробьев // 9-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2012» (НиМ – 2012). Секция «Энергетика». Подсекция «Электрификация производства и быта». – 3 с.

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ВЕЛИЧИНЫ ДОПУСТИМЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Осипов Кирилл Андреевич, студент группы 8Э-22, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: mr.osipov2014@inbox.ru

Кундель Сергей Алексеевич студент группы 8Э-22, Алтайский государственный
технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail serzh.kundel@mail.ru
Компанеев Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

В данной работе произведен анализ нормативной документации по ограничению величины допустимых потерь электроэнергии в структуре ПАО «Россети Сибирь» и ФСК ЕЭС. В качестве нормативной документации были рассмотрены приказы Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. №326 и приказ №1272 от 30 ноября 2022 г. Произведено сравнение действующих нормативов в Российской Федерации с мнением зарубежных экспертов и дана оценка установленным нормативам.

Ключевые слова: *потери электроэнергии, технологические потери, норматив потерь электроэнергии, магистральные электрические сети, расчёт потерь электроэнергии.*

На сегодняшний день расчет потерь осуществляется в соответствии с соответствующими приказами Министерства энергетики. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. №326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» и инструкции «По организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».

По методике Министерства Энергетики РФ расчет технологических потерь электроэнергии за базовый и на регулируемые периоды производится по фактическим и прогнозным показателям баланса электроэнергии. Технологические потери электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям рассчитываются отдельно по составляющим: нагрузочные и потери, условно-постоянные, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета.

Нагрузочные потери электроэнергии на регулируемый период определяются по формуле:

$$\Delta W_{Н.Р.} = \Delta W_{Н.Б.} \cdot \left(\frac{W_{отп.Р.}}{W_{отп.Б.}} \right)^2, \quad (1)$$

где $W_{отп.Б.}$, $W_{отп.Р.}$ - отпуск электроэнергии из сети в базовом и регулируемом периодах соответственно.

$$\Delta W_{Н.Р.} = \Delta W_{Н.Б.} \cdot \left(\frac{W_{ос.Р.}}{W_{ос.Б.}} \right)^2, \quad (2)$$

где $\Delta W_{Н.Б.}$, $\Delta W_{Н.Р.}$ - нагрузочные потери электроэнергии за базовый и на регулируемый периоды соответственно;

$W_{ос.Б.}$, $W_{ос.Р.}$ - отпуск электроэнергии в сеть в базовом и регулируемом периодах соответственно.

Потери электроэнергии, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии, на регулируемый период для ФСК и МСК определяются:

$$\Delta W_{погр.Р.} = \frac{\Delta W_{погр.Б.} \cdot W_{отп.Р.}}{100}. \quad (3)$$

Норматив технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям определяется в процентах по электрической сети в целом и рассчитывается по формуле:

$$\Delta W_{погр.Р.} = \frac{\Delta W_{ТПЭ.Р.}}{W_{ос.Р.}} \cdot 100, \quad (4)$$

где $W_{ос.Р.}$ - отпуск электроэнергии в сеть ТСО в регулируемом периоде (для ФСК и МСК - отпуск электроэнергии из сети своей компании).

Приказом Министерства энергетики РФ утверждаются нормативы потерь электрической энергии при передаче её по единой (общероссийской) электрической сети на следующий год [2].

Для сетей напряжением 330 кВ и выше утверждается норматив для одного филиала организации по управлению единой национальной электрической сетью (ЕНЭС) –

магистральных электрических сетей. Для сетей напряжением 220 кВ и ниже утверждается норматив для каждого субъекта РФ, в котором организация по управлению ЕНЭС оказывает услуги по передачи электрической энергии.

На примере филиала ПАО «Россети» - Магистральные электрические сети Сибири рассмотрим утвержденные нормативы потерь электрической энергии на 2023 год.

Таблица 1 – Утвержденные нормативы потерь электрической энергии филиала ПАО «Россети» - Магистральные электрические сети Сибири на 2023 год [2]

Наименование субъекта РФ	Норматив потерь электрической энергии по уровню напряжения «330 кВ и выше», % от суммарного отпуска электрической энергии из сети	Норматив потерь электрической энергии по уровню напряжения «220 кВ и ниже», % от суммарного отпуска электрической энергии из сети
1	2	3
Алтайский край	3,82	4,06
Республика Бурятия		5,52
Красноярский край		3,71
Республика Тыва		6,51
Кемеровская область		3,75
Новосибирская область		3,15
Омская область	3,82	3,09
Томская область		4,66
Иркутская область		7,70
Забайкальский край		5,89
Республика Хакасия		3,98

Минимальный норматив потерь электрической энергии равный 3,15% утвердили для Новосибирской области. Максимальный норматив потерь электрической энергии равный 7,70% утвердили для Иркутской области.

Основываясь на максимально допустимых общих нормативах потерь электроэнергии можно сделать вывод, что максимально допустимые общие потери электроэнергии филиала ПАО «Россети» Сибири на 2023 год не превышают 10%, являющиеся максимальным процентом электрических потерь, по мнению иностранных специалистов [3].

Таким образом установленные значения потерь электроэнергии согласно нормативным документам близки к общемировым показателям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. №326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».

2. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 ноября 2022 г. №1272 «Об утверждении нормативов потерь электрической энергии при её передаче по единой национальной (общероссийской) электрической сети, осуществляемой публичным акционерным обществом «Федеральная сетевая компания Россети» с использованием объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих публичному акционерному обществу «Федеральная сетевая компания Россети» на праве собственности или ином законном основании, на 2023 год».

3. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. — М.: ЭНАС, 2009. — С. 456. Основные термины (генерируются автоматически): нулевой провод, потеря электроэнергии, сеть, потеря, снижение сопротивления, электрическая энергия.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО КЛАССА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Соколов Роман Алексеевич, студент группы Э-11, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: archerzzz12@gmail.com

Сабельников Александр Сергеевич, старший преподаватель, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: sa@zarseti.ru

При выборе трансформатора необходима оценка его надежности, долговечности и энергоэффективности. Выше перечисленные параметры зависят от коэффициента загрузки трансформатора. Одновременно с этим расчет такого коэффициента является затруднительным. В статье предложен способ определения и использования коэффициента загрузки, который возможно применить для разработки математической модели выбора рационального класса энергоэффективности трансформаторов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, коэффициент загрузки трансформатора, энергоэффективность, математическая модель.

Комплексная Государственная программа Российской Федерации (РФ) «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности», утвержденная ПП РФ № 1473 от 09.10.2023 г., (Программа) устанавливает цель по снижению энергоемкости ВВП РФ на 35 процентов в 2035 году. Программа обуславливает необходимость разработки механизмов применения товаров, объектов и технологий высокой энергетической эффективности, и необходимость внедрения мер по снижению потерь электрической энергии. Кроме того, целевые показатели по достижению энергоэффективности являются обязательными для организации, осуществляющей регулируемый вид деятельности (Сетевые компании), в том числе по внедрению энергоэффективного оборудования, которое в свою очередь является дорогостоящим [1].

Для понимания эффекта от применения энергоэффективного трансформатора вместо классического, и выбора его класса энергоэффективной целесообразно составить математическую модель приведенных затрат, ключевым показателем в которой является коэффициент загрузки трансформатора.

Коэффициент загрузки трансформатора β определяет отношение рабочего тока нагрузки к номинальному току трансформатора или потребляемой мощности к номинальной мощности трансформатора. Метод расчета коэффициента загрузки приведен в формуле ((1)

$$\beta = \frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{ном}}} \text{ или } \beta = \frac{P_{\text{нагр}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где, $I_{\text{нагр}}$ – это ток нагрузки, $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток, $P_{\text{нагр}}$ – мощность нагрузки, $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность.

Но данный метод расчета имеет ряд недостатков: расчет производится, используя только максимальное значение нагрузки, что нецелесообразно, т.к. расчет коэффициента загрузки следует производить за некоторый промежуток времени.

Коэффициент загрузки влияет на срок службы, коэффициент мощности трансформатора и на численные значения потерь в трансформаторе в определенный период времени.

В зависимости от загрузки трансформатора можно оценить срок его службы, который зависит от ряда факторов таких, как условия окружающей среды, перенапряжения в сети, аварийные перегрузки. При превышении температуры на каждые 6°C более 98°C увеличивает скорость износа изоляции в 2 раза, что значительно уменьшает срок службы трансформатора. Основным фактором, влияющим на температуру наиболее нагретой точки, является ток, протекающий в трансформаторе под нагрузкой, отражением величины которого является коэффициент загрузки β [1].

Снижение коэффициента загрузки трансформаторов приводит к повышенному потреблению ими реактивной мощности, а также к увеличению коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi$. При этом большая часть реактивной мощности, потребляемой трансформаторами, обусловлена их малой загрузкой [2].

Также коэффициент используется при расчёте потерь в трансформаторе по формуле ((1)

$$\Delta P_{\text{эл}} = \beta^2 \Delta P_{\text{кз}}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{эл}}$ – электрические потери, $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери опыта короткого замыкания.

Предлагается взять данные о нагрузке трансформаторов распределительной сети 6-10 кВ за длительный период. На сегодняшний день большинство подстанций распределительных сетей оборудованы интеллектуальным учетом электроэнергии, который позволяет выгружать данные о получасовых нагрузках за длительный промежуток времени. Предлагается принять за эталон данные 1095 дней или 3 полных года. Таким образом за исследуемый промежуток времени будет взято 52 560 получасовых измерений.

Следующий метод расчета коэффициента загрузки может быть представлен как среднее арифметическое всех измерений, произведенных за исследуемый период, и представлено в формуле ((1)

$$\beta = \frac{\sum P_{\text{изм}}}{N_{\text{изм}} P_{\text{ном}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{изм}}$ – измеренная мощность нагрузки;

$N_{\text{изм}}$ – количество измерений;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность.

Для понимания характера нагрузки рассмотрим данные о загрузке реальной трансформаторной подстанции за 3 года – Кытмановской подстанции, на которой установлен трансформатор ТМ-100/10. В результате анализа данных о загрузке трансформаторной подстанции можно сделать вывод, что представленный метод расчета нецелесообразен из-за того, что он не отражает характер нагрузки и показывает лишь усредненный коэффициент загрузки за определенный период времени

Коэффициент загрузки – параметр, с помощью которого можно оценить множество других параметров и числовых показателей, но его расчет представляется затруднительным из-за непредсказуемого характера нагрузки, и он не подходит для расчета количественного значения потерь в трансформаторе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства Российской Федерации закон от 09.09.2023 №1473 "Об утверждении комплексной государственной программы Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности".

2. Макаров, Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ / Е. Ф. Макаров. — Том II. — Москва : Папирус Про, 2003. — 688 с. — Текст : непосредственный.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА УДЕЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ ВЕТРОВОГО ПОТОКА

Степанов Владислав Максимович, студент группы Э-12, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: stepanov.vlad2310@mail.ru

Галушко Павел Андреевич, ведущий инженер ООО "ПроектСервис"

Васильев Валерий Юрьевич, старший преподаватель, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vasilevvy@altgtu.ru

Одним из перспективных решений вопроса качественного электроснабжения объектов АПК является использование ветроэнергетики. Однако, известные на сегодняшний день подходы к оценке ветроэнергетических ресурсов не учитывают влияние относительной влажности воздуха на удельную мощность ветрового потока. В данной работе рассмотрены подходы к оценке ветроэнергетического потенциала местности, учитывающие влияние группы метеорологических параметров на удельную мощность ветрового потока.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ветроэнергетика, ветрогенераторы, удельная мощность ветрового потока, ветровой поток, ветроэнергетический потенциал.

Использование ветроэнергетических установок (ВЭУ) является одним из распространенных способов обеспечения электроснабжения потребителей в условиях невозможного либо экономически невыгодного подключения к Единой энергетической системе. При этом, большую роль в принятии решения о целесообразности использования ВЭУ играет точность определения ветроэнергетического потенциала местности.

Количественной характеристикой ветровых энергоресурсов является среднегодовая удельная мощность ветрового потока. Как известно [1], общепринятые на сегодняшний день подходы к оценке состояния ветровых энергоресурсов учитывают изменение только одного метеорологического параметра, а именно скорости ветра. В то же время, в работе [1] говорится о том, что на удельную мощность ветрового потока оказывают влияние атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха, что не учитывается в общепринятых методиках.

Согласно исследованиям, проводимым в работе [1], учет интегрального метеорологического влияния может изменять точность производимой оценки ветроэнергетического потенциала местности. Относительная разница расчетных значений может достигать 10%.

Одним из метеорологических параметров, влияющих на удельную мощность ветрового потока является относительная влажность воздуха. Согласно [2] удельная мощность ветрового потока определяется следующим образом

$$N_{уд} = \frac{\left(\rho_{с.в.} - 0,013 \frac{P_{П}}{T} \right) \cdot v^3}{2}, \quad (1)$$

где $\rho_{с.в.}$ – плотность сухого воздуха, кг/м³;

$P_{П}$ – парциальное давление влажного воздуха, Па;

T – температура воздуха;

$(v^3 \cdot dF)$ – куб скорости ветра с учетом годовой функции ее распределения, (м/с)³.

Данный подход усложняет процесс оценки состояния ветровых энергоресурсов, так как он требует дополнительных затрат трудовых и временных ресурсов на определение плотности сухого воздуха, а также парциального давления влажного воздуха. Данная проблема решается в подходе, описанном в [2]. Согласно [2] удельная мощность ветрового потока рассчитывается следующим образом

$$N_{уд} = \frac{P_{атм} - 2,315 \cdot \phi \cdot e^{\left(\frac{\alpha \cdot (T - 273,15)}{\beta + T - 273,15} \right)}}{573,8 \cdot T} \cdot v^3, \quad (2)$$

где $P_{атм}$ – атмосферное давление, Па;

ϕ – относительная влажность воздуха, %;

α и β – справочные коэффициенты.

Данный подход является оптимальным решением для оценки степени влияния относительной влажности воздуха на удельную мощность ветрового потока, так как он не требует расчетов дополнительных параметров. Согласно уравнению (2) удельная мощность ветрового потока имеет прямую зависимость от относительной влажности воздуха.

Таким образом, удельная мощность ветрового потока имеет прямую зависимость от относительной влажности воздуха. Однако, более точная оценка степени влияния относительной влажности воздуха на состояние ветровых энергоресурсов требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев, В. Ю. Возможность развития методики проектирования ветроэнергетических установок в АПК / В. Ю. Васильев, Е. В. Титов // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы Международной научной конференции, Майский, 14–15 марта 2023 года. Том 4. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 22-23.

2. Васильев, В. Ю. Влияние климатических условий на работу ветряных установок / В. Ю. Васильев // Материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, с международным участием в г. Нерюнгри, посвященной 30-летию юбилею Технического института (филиала) СВФУ им. М.К. Аммосова : Материалы конференции, Нерюнгри, 28–29 октября 2022 года / Редколлегия: А.В. Рукович, Н.Н. Гриб, П.Ю. Кузнецов [и др.]. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2022. – С. 30-32. – DOI 10.52994/9785751333737_007

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДСТАНЦИЙ»

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МИНИМУМА ПОТЕРЬ В СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

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

В данной статье рассматривается проблема потерь электроэнергии в сети электроэнергетики. Рассмотрен метод регулирования напряжения, для снижения уровня потерь. Проведен анализ уравнений потерь холостого хода и нагрузочных потерь. Вычислено оптимальное значение напряжения в сети. Подтверждено условие максимума КПД: доказано равенство нагрузочных потерь и потерь холостого хода.

Ключевые слова: *потери в сети электроэнергетики, электрические потери, регулирование напряжения, максимум КПД, методы снижения потерь.*

Потери электроэнергии являются неотъемлемой частью ее передачи и распределения. Их увеличение ведет к ухудшению качества электроэнергии и росту тарифа для потребителей.

Все потери в электрических сетях можно разделить на коммерческие, к которым относятся потери из-за проблем в сфере организации контроля потребления, в том числе несанкционированных подключений; и технические – потери. Общий уровень потерь не должен превышать 12%. [1] Однако если конечный потребитель находится на низком напряжении, то общие потери складываются из потерь на всех промежуточных уровнях напряжения, в том числе в сетях ФСК.

Один из методов снижения потерь в сети – это регулирование уровня напряжения. Все технические потери можно разделить на потери холостого хода и нагрузочные потери. При этом потери холостого хода прямо пропорциональны квадрату напряжения в сети, а нагрузочные потери квадрату тока в линии.

$$\Delta P_{\text{нагр}} = \Delta P'_{\text{кз}} \left(\frac{S}{S_{\text{н}}} \right)^2 \left(\frac{U_{\text{н}}}{U} \right)^2 + \frac{S}{3U^2} R,$$
$$\Delta P'_{\text{хх}} = \Delta P'_{\text{хх}} \left(\frac{U}{U_{\text{н}}} \right)^2$$

$\Delta P'_{\text{хх}}$ и $\Delta P'_{\text{нагр}}$ – потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора, полученные в результате опытов, S – передаваемая мощность, $S_{\text{н}}$ – номинальная мощность трансформатора, $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение, U – фактическое напряжение, R – собственное сопротивление.

Учитывая, что передаваемая потребителю мощность должна быть постоянной, то можно заметить обратную зависимость нагрузочных потерь от квадрата напряжения.

Видно, что при увеличении напряжения в сети будут расти потери холостого хода, а при уменьшении растут нагрузочные потери. Следовательно, необходимо найти оптимальное значение напряжения сети, при котором суммарные потери будут наименьшими, то есть ставится задача поиска минимума функции суммарных потерь в сети от напряжения.

$$P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{нагр}} = \Delta P'_{\text{хх}} \left(\frac{U}{U_{\text{н}}} \right)^2 + \Delta P'_{\text{кз}} \left(\frac{S}{S_{\text{н}}} \right)^2 \left(\frac{U_{\text{н}}}{U} \right)^2 + \frac{S}{3U^2} R \rightarrow \min$$

Выполнив математические операции, найдем получим оптимальное значение напряжения в сети:

$$U = \sqrt[4]{\frac{S_1^2 R U_H^2 S_H^2 + 3 \Delta P'_{кз} S_1^2 U_H^4}{3 \Delta P_{xx} S_H^2}}$$

Принцип поиска максимума КПД [2], что соответствует наименьшему количеству потерь, говорит о том, что потери холостого хода должны быть равны нагрузочным потерям. Подставив полученное значение напряжения в уравнения для всех видов потерь, получим следующее соотношение:

$$\Delta P_{xx} = \Delta P_{нагр} = \Delta P'_{xx} \frac{S_1}{S_H U_H} \sqrt{\frac{R S_H^2 + 3 \Delta P'_{кз} U_H^2}{3 \Delta P_{xx}}} \Rightarrow \frac{\Delta P_{xx}}{\Delta P_{нагр}} = 1.$$

Данное выражение показывает, что найденное значение напряжения действительно будет соответствовать наибольшему значению КПД. Таким образом, регулируя напряжение в сети, возможно снизить уровень технических потерь электроэнергии и повысить её качество.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Воротницкий В. Норматив потерь электроэнергии в электрических сетях. Как его определить и выполнить? / Воротницкий В. [Электронный ресурс] // Новости электротехники : [сайт]. — URL: <http://news.elteh.ru/arh/2003/24/11.php> (дата обращения: 13.11.2023).
2. Потери и условия максимума КПД в трансформаторе / [Электронный ресурс] // Студопедия : [сайт]. — URL: https://studopedia.ru/16_46658_poteri-i-usloviya-maksimuma-kpd-v-transformatore.html (дата обращения: 13.11.2023).

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Баранов Илья Александрович, студент группы Э-12, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: deazd17@gmail.com

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

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

Рассмотрены системы измерения магнитных полей на производственных объектах. Представлены средства измерения уровней электромагнитных полей. Приведен принцип работы приборов измерения уровней электромагнитных полей для обеспечения безопасной работы на объектах.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитное излучение, система контроля, дозиметр, индивидуальные средства измерения.

В современном мире, где технологии развиваются со сверхскоростью, человек стал сталкиваться с более широким спектром электромагнитных полей, создаваемых различными устройствами и системами. Это может быть как простой домашний Wi-Fi роутер, так и сложное оборудование на промышленном предприятии. Влияние электромагнитного излучения на организм человека связано главным образом с тепловым эффектом. При этом усиливается кровоток в органах, что предохраняет их от чрезмерного местного перегрева тканей [1].

Осознание необходимости контроля над уровнями электромагнитного излучения привело к появлению индивидуальных средств измерения. Такие приборы позволяют работникам самостоятельно контролировать уровень электромагнитных полей на рабочем месте и принимать соответствующие меры для защиты своего здоровья. В данной статье

рассмотрены различные типы индивидуальных средств измерения электромагнитных полей, а также их особенности и преимущества для использования на производстве [2].

Основные принципы работы индивидуальных средств измерения электромагнитных полей на производстве включают в себя несколько ключевых аспектов [2-3]. Во-первых, такие средства оснащены датчиками, которые способны измерять магнитное и электрическое поле одновременно. Это позволяет получить более полную информацию о характеристиках поля. Во-вторых, индивидуальные средства измерения обладают высокой точностью и надежностью. Они калибруются перед использованием и регулярно проверяются. Это гарантирует правильность получаемых данных и защищает работников от возможных опасных уровней электромагнитного излучения [2]. Кроме того, такие средства имеют функцию записи данных, что позволяет сохранять результаты измерений для последующего анализа и контроля. Это особенно важно при проведении регулярных проверок рабочих мест на предмет соответствия нормам безопасности [2]. Наконец, индивидуальные средства измерения обычно компактны и легки в использовании. Работник может легко носить их при выполнении своих задач на производстве без каких-либо помех или неудобств.

К примеру, одним из таких средств являются индивидуальные датчики, которые крепятся на тело работника или на его одежду. Эти датчики могут измерять параметры электромагнитных полей, такие как частота и направление [1-2]. Эти средства позволяют оценить соблюдение норм безопасности и принять меры по защите персонала от потенциально опасных полей.

Также широко используется персональный дозиметр. Он может быть носимым или крепиться на рабочую одежду работника [2]. Дозиметры позволяют контролировать уровень экспозиции работника к электромагнитным полям на протяжении всего рабочего дня. Дозиметр необходим на предприятии для установления уровня магнитного поля, чтобы понимать, может ли находиться там человек без специальной защиты или нет. Современный электромагнитный дозиметр позволяет измерять уровень магнитного и электрического полей вокруг линий электропередач, бытовой техники и оборудования. Главными преимуществами дозиметров являются: относительно высокая скорость измерения, автономная система питания, оповещение звуковым сигналом при превышении допустимой нормы [1-3].

Индивидуальные средства измерения позволяют контролировать соответствие уровня электромагнитного излучения требованиям нормативно-правовых актов и профессиональным стандартам. Они также служат основой для разработки и внедрения методик предупреждения рисков связанных с использованием технических устройств. Кроме того, индивидуальные средства измерения позволяют проводить оценку рисков и определение зон повышенной электромагнитной активности на производстве. Это может быть особенно полезно при разработке новых рабочих мест или модификации уже существующих. Важно отметить, что выбор и правильное использование индивидуальных средств измерения играют ключевую роль в безопасности рабочих на предприятии [1-3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Банный В.А., Игнатенко В.А., Азаренок А.С., Евтухова Л.А. Современные материалы и способы защиты биологических объектов от воздействия электромагнитных полей и излучений // Проблемы здоровья и экологии. 2018. № 2(56). С. 4-10.
2. Яковлев А.В. Анализ распределения электромагнитных полей в помещении на основе данных измерительной системы R&S TS-EMF // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: Первая Всероссийская научная конференция, Санкт-Петербург, 14–22 апреля 2020 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2020. С. 50-54. DOI 10.31799/978-5-8088-1452-3-2020-1-50-54.
3. Фараджев Р.Н. Воздействие электромагнитных полей на организм человека // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: Сборник материалов LV

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УЗДП В СЕТЯХ 6-35 КВ

Григорьев Степан Евгеньевич, студент группы Э-02, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail Grigoriev_Stepan@mail.ru
Мишин Данил Романович, студент группы Э-02, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail Grigoriev_Stepan@mail.ru
Компанеев Борис Сергеевич, к.т.н., заведующий кафедрой, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

Одно из последних принципиально новых устройств защиты в электрических сетях это устройство защиты от дугового пробоя в электрических линиях 0,4 кВ. Данное средство защиты в последние годы начинает внедряться все более широко, в том числе и в России, а именно: в больницах, школах, а также в других социальных учреждениях.

Как известно [1, 2], для автоматического предупреждения и предотвращения пожара от искрения дугового пробоя в электрических сетях и электроустановках используются устройства защиты от дугового пробоя (УЗДП).

Существуют параллельный и последовательный типы искрения и, следовательно, логика работы устройства так же настраивается на два этих варианта аварий.

Параллельное искрение. Оно может быть вызвано, например, из-за присутствия проводящей почвы между проводами или старения изоляционного материала. Данный тип искрения может произойти между двумя фазными проводами (L-L) или между фазным проводом (L) и нейтральным проводом (N), а также между фазным проводом (L) и защитным проводом (PE) (ток течет дугой из фазного провода L в защитный провод PE).

Если изоляция между двумя проводами повреждена, то параллельное искрение может образовать проводимый путь через изоляцию и без прямого контакта металла. В случае если провода отделены изоляцией, то вследствие старения и химической, тепловой или механической нагрузки изоляционные свойства могут быть снижены. На поверхностях могут образоваться токи утечки, которые загрязнены нечистотами или конденсацией. Эти токи утечки и кратковременные разряды могут нагревать и обугливать пластмассы. Большие температуры в месте дефекта могут вызвать испарение части обугленного материала со значительным нагреванием, что может привести к образованию стабильной дуги. Между электрическими проводами обугленный путь может вызвать повторное образование дуги после прохождения тока нулем и еще больший нагрев вплоть до пожара.

Последовательное искрение. В этом случае в защитный провод PE или в землю никакой ток не проходит, а ток нагрузки даже снижен из-за напряжения на дуге последовательно с полезной нагрузкой. Устройства защитного отключения и устройства максимальной токовой защиты в этом случае не могут предоставить никакой защиты.

Возникновение пожара из-за возникновения последовательного искрения будет описано на примере сужения кабеля. В месте сужения результатом тока является высокая температура. Что приводит к окислению горячей меди с дальнейшим повышением температуры и постепенным увеличением сопротивления. В некоторых случаях может произойти плавление меди. В месте пика тока и не только образуется газ. Это приводит к тому что, на короткое время образуется воздушный зазор с дугой. В месте дефекта изоляция обугливается. Как раз образование стабильной дуги возможно на этом расстоянии, которая может привести к пожару.

Исходя из данных, приведенных выше, можно сделать вывод, что устройству защиту от дугового пробоя обнаружить параллельное искрение намного проще чем последовательное искрение.

Несмотря на то, что УЗДП еще не изучено до конца и ее основные проблемы не решены, такие как: ложные срабатывания, это не мешает использовать устройство в электросетях. Так как, эта мера безопасности положительно влияет на предотвращение аварийных ситуаций, в том числе электрических пожаров, вызванных дуговым пробоем.

Ложные срабатывания – главная проблема устройства защиты от дугового пробоя.

На рисунке 1, представлен график линии с несколькими потребителями. На рисунке 2, представлен график этой же линии во время дугового пробоя. По данным с графика, УЗДП отслеживает дуговой пробой и в случае чего, предотвращает его и отключает цепь.

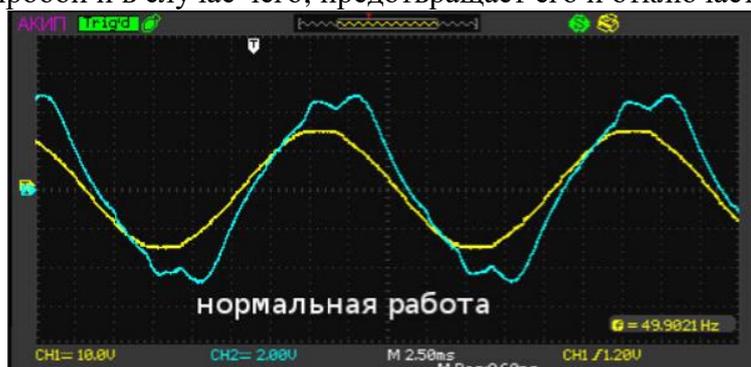


Рисунок 1 – Ток при нормальной работе

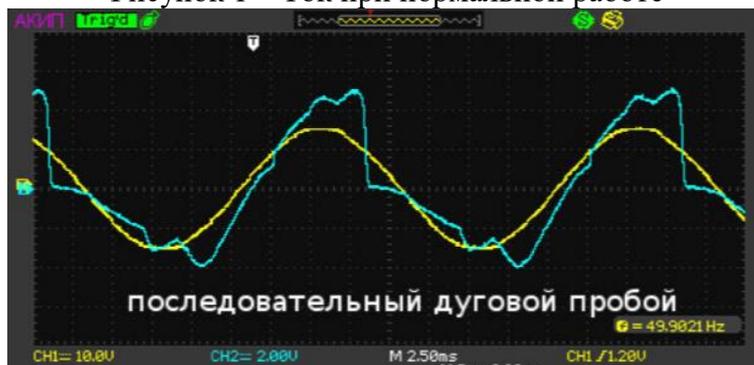


Рисунок 2 – Ток при дуговом пробое

Использование новых алгоритмов работы УЗДП в высоковольтных линиях повысит эффективность защиты при дуговом пробое. Согласно [3] с 1 марта 2024 года в ряде общественных мест использование УЗДП становится обязательным, благодаря чему планируется повысить их пожаробезопасность.

При внедрении дополнительной безопасности, работающей на основе устройства защиты от дугового пробоя, нужно учитывать такие факторы как: устойчивое напряжение, современное оборудование и опытные специалисты. Корректная работа устройства – залог успеха безопасности в электросетях.

Проблема искрения и дугового пробоя присутствует не только в сетях 0,4 кВ, но и на производстве и высоковольтных линиях электропередач. В следствии чего происходят аварийные ситуации, достигающие огромных масштабов.

Аварийная ситуация может возникнуть из-за повреждения изоляции, что приведет к дуговому пробоем. Данным видам повреждений в первую очередь подвержены изоляторы ЛЭП и кабельная изоляция, это разрушение изоляции провода или трещины в изоляторах опор. Для определения начинающейся проблемы, еще не перешедшей в аварийную ситуацию можно использовать алгоритмы работы устройств УЗДП, что позволит предотвратить аварию и избежать значительных материальных ущербов.

Высоковольтные линии в электроэнергетике, это важнейшая часть экономической и стратегической системы, которая должна сохраняться в безопасности как можно дольше. В

будущем устройства, описанные ранее, станут неотъемлемой частью в энергетической сфере, так как государство уже начинает внедрять данный способ защиты ЛЭП.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прикладное руководство устройства защиты от искрения AFDD, Нижний Новгород, 16 мая 2017 года. Том 1. Часть 1. – Нижний Новгород: Компания, АО Регион-Автоматика, 2023. – С. 7 – 8. URL: <https://profsector.com/media/catalogs/5a983d78836a6.pdf>

2. Григорьев, С. Е. Анализ мероприятий по обеспечению защиты от дугового пробоя / С. Е. Григорьев, Д. Р. Мишин // Наука и молодежь : Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 17–21 апреля 2023 года. Том 1. Часть 1. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 331-332.

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 марта 2023 г. № 510 «О внесении изменения в пункт 32 Правил противопожарного режима в Российской Федерации» // СПС КонсультантПлюс

СПОСОБЫ Понижения стоимости изготовления шинопровода без потери эффективности

Дронов Илья Алексеевич, студент группы Э-12, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: iladronov1@gmail.com

Жуков Илья Александрович, студент группы Э-12, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: ilya.zhukov.400@mail.ru

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

Шинопроводы обладают рядом преимуществ по сравнению с кабельными линиями. Такими как простота монтажа, гибкость в эксплуатации, компактность конструкции и меньшая пожароопасность, но обладает одним существенным недостатком – стоимость изготовления, решение которого позволит ввести шинопровод в более массовую эксплуатацию. В данной статье рассматриваются три способа понижения стоимости изготовления шинопровода без ущерба для их эффективности. Первый способ - использование более экономичных материалов, включая использование альтернативных композиционных материалов. Второй способ - оптимизация процесса производства при помощи технологии 3D-печати. Третий способ - повышение эффективности конструкции шинопровода через изменение геометрии.

Ключевые слова: шинопровод; экономия; эффективность; материалы; 3D-печать; инженерная оптимизация;

Как известно [1], шинопровод представляет собой комплектное устройство, прошедшее типовые испытания, в виде системы проводников, размещенных внутри лотка, трубы или иной подобной оболочки, которое состоит из разделенных промежутками шин, которые в свою очередь опираются на изоляционный материал [1].

Они являются одним из важнейших элементов в электротехнических системах, обеспечивающих передачу электрической энергии от источника к потребителям. Однако высокая стоимость изготовления шинопровода может ограничивать их применение в различных проектах. Рассмотрим три способа снижения стоимости изготовления шинопровода без ущерба для их эффективности.

Способ 1: Оптимизация использования материалов.

Одним из главных факторов, влияющих на стоимость шинопровода, является выбор материала. Традиционно, медь является наиболее распространенным материалом для выпуска шинопровода, однако она обладает значительной долей в затратах на производство. Оптимизация использования материалов может существенно снизить стоимость изготовления. Например, использование алюминия или его сплавов может заметно

уменьшить затраты на материалы без ущерба для электрической эффективности шинпровода. Также, применение инновационных композиционных материалов, таких как алюминий-магний или алюминий-серебро, может быть альтернативой для сокращения стоимости производства шинпровода [2]. Эти материалы обладают высокой электропроводностью и механической прочностью при более низкой стоимости по сравнению с медью. Таким образом, использование альтернативных композиционных материалов становится привлекательным способом снижения стоимости изготовления шинпровода.

Способ 2: Оптимизация процесса производства.

Совершенствование процесса производства является крайне важным этапом снижения стоимости изготовления и производства шинпровода. Одним из способов оптимизации процесса производства - это использование 3D-печати. Эта технология предоставляет собой возможность создания сложных и точных форм шинпровода из пластмасс или металлов, что не всегда возможно традиционными методами производства, или является более затратным. Использование 3D-печати позволяет значительно сократить время и затраты на производство шинпровода сложной формы. Кроме того, этот метод позволяет снизить количество отходов материала, так как форма шинпровода может быть создана точно по необходимым требованиям без использования лишних материалов [3]. Оптимизация процесса производства с использованием 3D-печати также обеспечивает более высокую точность и повторяемость изготовления, упрощает индивидуальную настройку и интеграцию шинпровода в систему. Но такой способ производства имеет и свои недостатки: необходимость приобретения соответствующего оборудования, подбор квалифицированного персонала, способного проводить настройку и ремонт.

Способ 3: Повышение эффективности конструкции.

Инженерная оптимизация конструкции шинпровода позволяет снизить стоимость изготовления без потерь для их эффективности. Под инженерной оптимизацией понимается изменение конфигурации, формы, состава, технологии укладки. Одним из конкретных изменений геометрии конструкции, которое может сделать изготовление шинпровода более экономичным, является применение удлиненной формы сечения шинпровода. Традиционно, сечение шинпровода имеет форму прямоугольника или круга. Однако, при помощи математического моделирования и оптимизации, можно определить оптимальную форму сечения, которая будет требовать меньшее количество материала для обеспечения необходимой прочности и электрической проводимости. Такая удлиненная форма позволяет эффективнее распределять электрические токи и снижает нагрузку на материал, что в свою очередь сокращает стоимость изготовления шинпровода. Математическое моделирование и симуляции позволяют проводить оптимизацию конструкции на основе требований к механической прочности и электрической проводимости, а так же проводить испытания, выявлять недостатки еще на стадии конструирования. Такие подходы позволяют создавать более эффективные и экономичные конструкции шинпровода.

Делая вывод, можно сказать, что снижение стоимости изготовления шинпровода является важной и актуальной задачей для применения их в производстве и других отраслях. Распространение данной технологии в перспективе обеспечит большой экономический эффект в будущем. Наиболее перспективными являются следующие три способа, позволяющих достигнуть этой цели: оптимизация использования материалов, оптимизация процесса производства и повышение эффективности конструкции. Реализация этих способов требует дальнейшего исследования и разработки, но они могут привести к созданию более доступных и эффективных шинпроводов, способствуя развитию электротехнической отрасли.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Что такое шинопровод. Типы, изоляция, конструкции / [Электронный ресурс] // НТЦ Энергоресурс : [сайт]. — URL: <https://en-res.ru/stati/chto-takoe-shinoprovod-vidy-shinoprovodov-primenenie.html> (дата обращения: 08.11.2023).

2. Токопроводящие материалы / [Электронный ресурс] // EnergyLand.info : [сайт]. — URL: <http://m.energyland.info/index.php?action=analiticview&id=117659&offset=540&limit=10> (дата обращения: 08.11.2023).

3. 3D-принтеры в машиностроении / [Электронный ресурс] // Globaltek 3D : [сайт]. — URL: <https://globatek.ru/3d-wiki/otrasli-primeneniya-3d-printerov/machinery> (дата обращения: 08.11.2023).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ХОЛОСТОМ ХОДУ

Овсебян Ваник Александрович, инженер-электрик ООО "Союзэнергопроект", e-mail: ovsepyanvanik@yandex.ru

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

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

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

Рассмотрены вопросы, связанные с возникновением переходных процессов при включении силовых трансформаторов на сеть в режиме холостого хода, сопровождающихся бросками тока включения и явлениями, негативно влияющими на параметры сети и состояние силового оборудования. Исследуется зависимость величины токов включения силового трансформатора при различных начальных (докоммутационных) параметрах - фазы напряжения сети и величины остаточного магнитного потока в сердечнике трансформатора в момент включения.

Ключевые слова: силовой трансформатор, переходный процесс, бросок тока включения, фаза напряжения, остаточный магнитный поток.

Процесс коммутации элементов электрической сети, как известно, сопровождается возникновением переходных процессов, обусловленных изменением параметров электрической сети. Несмотря на свою быстротечность, переходные процессы приводят к нарушению устойчивого режима работы электрической сети, в частности, к повышению напряжения на отдельных ее участках, а также к увеличению амплитуд токов сверх их установившихся значений, что в совокупности может привести к пробое изоляции и недопустимым термическим и механическим воздействиям на силовом оборудовании и иных элементах сети, включая электроустановки потребителей [1].

Переходные процессы, связанные с бросками тока, наблюдаются при включении силовых трансформаторов на сеть как в режиме холостого хода, так и под нагрузкой, что вызывает ряд негативных явлений, обусловленных ускоренным старением изоляции силового электрооборудования и проводов линии электропередачи (кабельные линии и воздушные линии с изолированным проводом), деформацией конструкций силового электрооборудования вследствие электродинамических сил, искажением формы напряжения сети, а также ложным срабатыванием устройств релейной защиты и автоматики.

Ударный ток включения (максимальная амплитуда) силового трансформатора зависит от фазы напряжения сети в момент включения, величины и полярности остаточного магнитного потока в сердечнике трансформатора, а также от значения магнитного потока в точке насыщения и наклона кривой намагничивания в области насыщения [2].

Исследование зависимости величины токов включения от различных начальных параметров электрической сети проводилось в среде Matlab-Simulink на базе силового трехфазного двухобмоточного трансформатора ТМГ – 400/6/0,4. Номинальный ток трансформатора составляет $I_{ном} = 38,49$ А. Схема соединения обмоток трансформатора была принята «звезда – звезда с нулем» (Y/Y₀).

На рисунке 1 представлена осциллограмма тока фазы А при включении силового трансформатора со следующими докоммутационными параметрами системы: начальная фаза напряжения U_A в момент включения равна $\psi_A = 0^\circ$, остаточный магнитный поток в сердечнике трансформатора отсутствует – $\Phi_r = 0$.

Согласно представленной на рисунке 1 осциллограмме, ударный ток включения силового трансформатора более чем в 6 раз превышает его номинальный ток. При этом длительность переходного процесса составляет более 0,3 с.

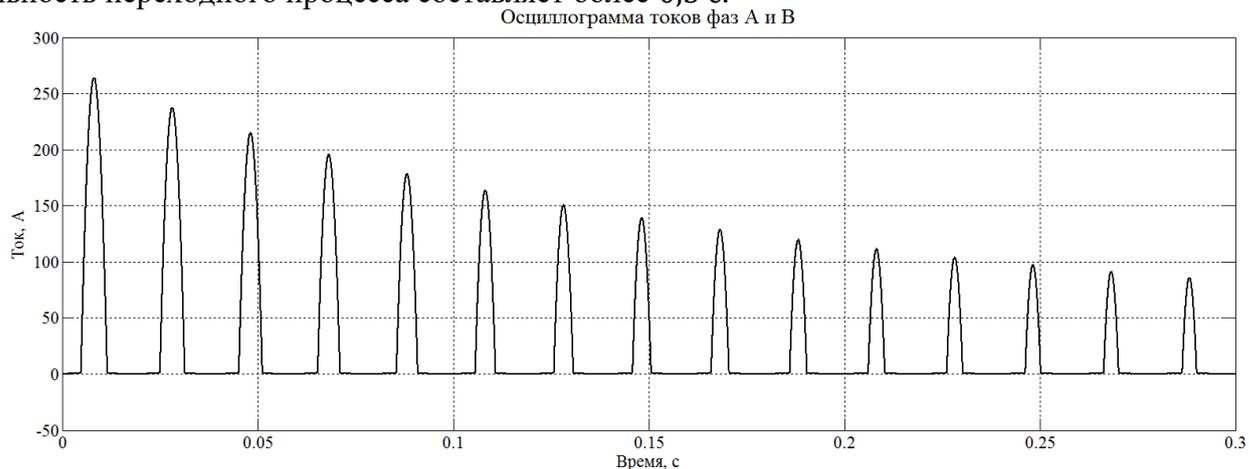


Рисунок 1 – Осциллограмма тока включения трансформатора при условии: $\psi_A = 0^\circ$, $\Phi_r = 0$

Исследуем влияние величины остаточного магнитного потока на ударный ток включения, для чего осуществим включение силового трансформатора при следующих начальных параметрах системы: начальная фаза напряжения U_A в момент включения равна $\psi_A = 0^\circ$, остаточный магнитный поток в сердечнике трансформатора составляет 0,3 (в о.е.) от потока насыщения – $\Phi_r = 0,3\Phi_s$. Осциллограмма тока фазы А при включении силового трансформатора представлена на рисунке 2.

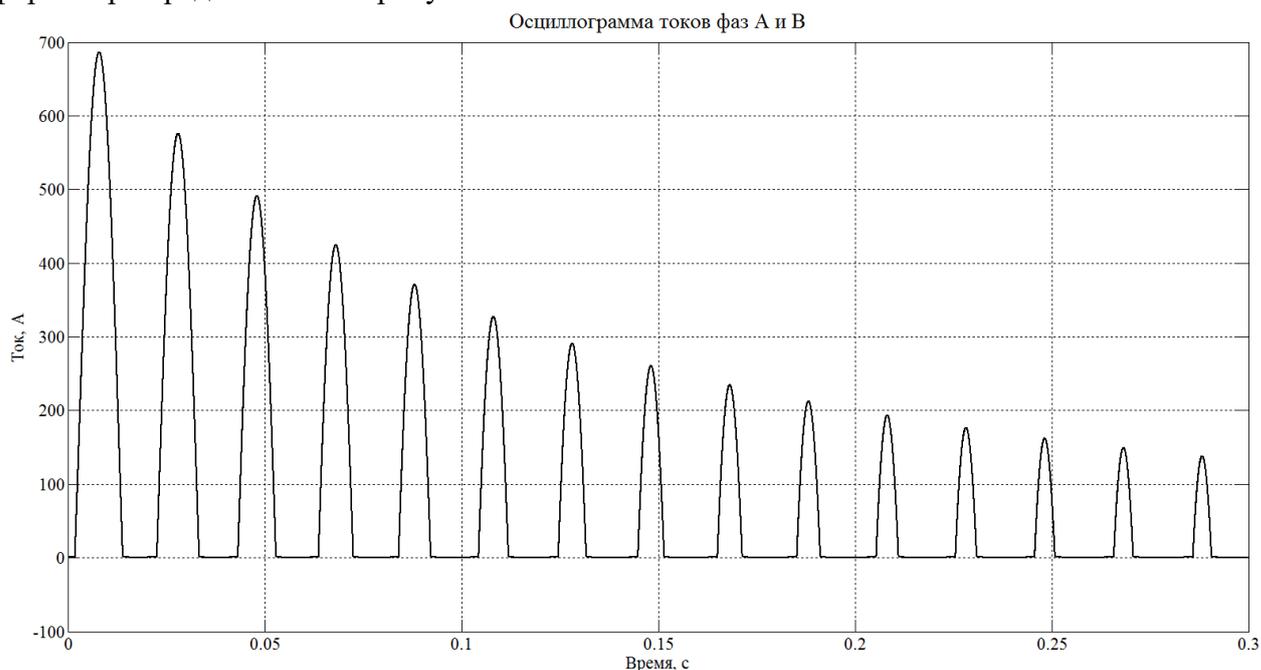


Рисунок 2 – Осциллограмма тока включения трансформатора при условии: $\psi_A = 0^\circ$,
 $\Phi_r = 0,3\Phi_s$

Нетрудно заметить резкое увеличение ударного тока включения практически до 700 А, который в данном случае превышает номинальный ток трансформатора практически в 18 раз.

Наконец, осуществим включение трансформатора при том же значении остаточного магнитного потока, но при условии, что начальная фаза напряжения U_A в момент включения равна $\psi_A = 90^\circ$. Осциллограмма тока фазы А при включении силового трансформатора представлена на рисунке 3.

Из представленной на рисунке 3 осциллограммы видно, что несмотря на наличие броска тока, ударный ток включения значительно уменьшился по сравнению с предыдущими значениями, при этом кратность по отношению к номинальному току трансформатора не превышает 1,5.

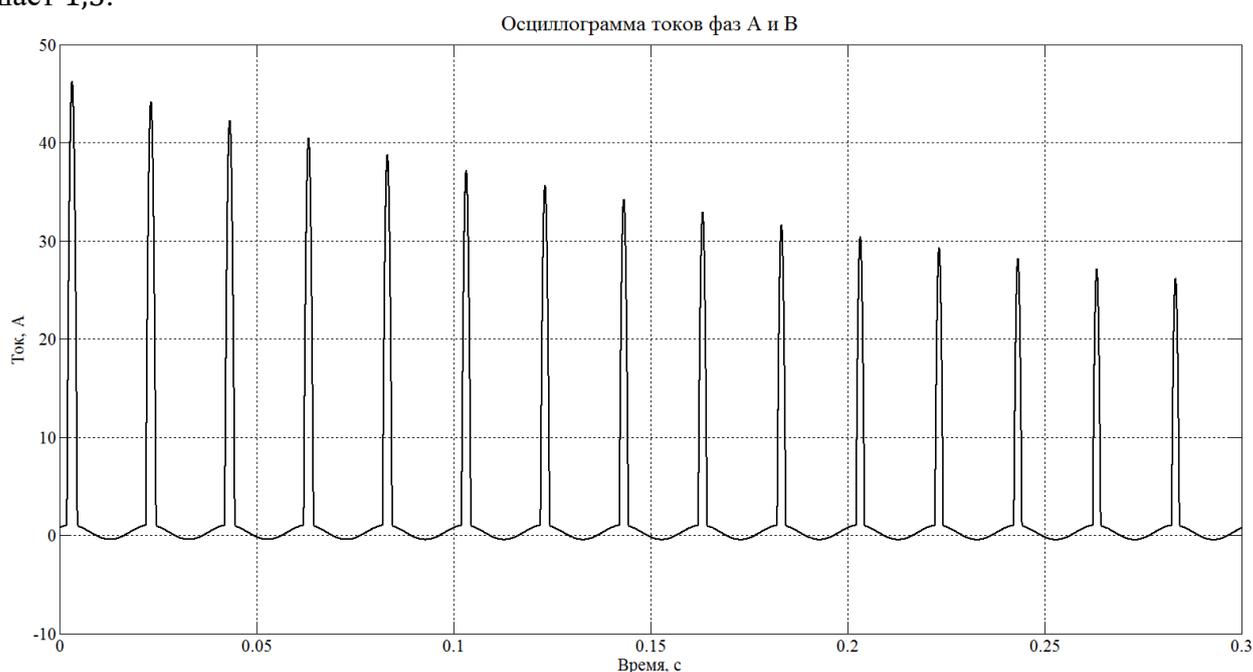


Рисунок 3 – Осциллограмма тока включения трансформатора при условии: $\psi_A = 90^\circ$,
 $\Phi_r = 0,3\Phi_s$

Из представленных на рисунках 1-3 осциллограмм можно сделать вывод о существенном влиянии начальной фазы напряжения и величины остаточного магнитного потока в момент включения на величину бросков намагничивающего тока силового трансформатора. В свою очередь, при оценке зависимости тока включения трансформатора от данных параметров следует учитывать их совокупный эффект, что подтверждается приведенными осциллограммами – снижение ударного тока включения может достигаться и при наличии остаточного магнитного потока в сердечнике трансформатора и строго определенной фазе напряжения ψ_A .

На основании полученных результатов можно сделать вывод о возможности снижения бросков тока включения силовых трансформаторов. Однако, для достижения этой цели необходимо провести поиск оптимальных начальных параметров системы, которые, что немало важно, будут отличаться для трансформаторов различной мощности и с различной схемой соединения обмоток.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. В 2 томах. Т. 1. Электрические цепи : учебник для вузов / Л. А. Бессонов. – 12-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 831 с. – ISBN 978-5-9916-3210-2. – Текст : электронный // Образовательная

платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/index.php/bcode/517560> (дата обращения: 20.10.2023).

Расчет параметров модели трехфазного трансформатора из библиотеки Matlab-Simulink с учетом насыщения магнитопровода / И. В. Новаш, Ю. В. Румянцев // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2015. - №1. – С. 12-24.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Пуляева Ольга Юрьевна, студент группы Э-12, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, e-mail: pulyaeva.03@mail.ru

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

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

Рассмотрены системы раннего обнаружения гололедно-изморозевых отложений на воздушной линии электропередач. Представлены преимущества внедрения таких систем в эксплуатацию. Применение системы удаленного мониторинга позволит своевременно определять место гололедообразования на ВЛ, повышая тем самым эффективность процессов передачи электрической энергии в электросетевых комплексах.

Ключевые слова: мониторинг гололедообразования, воздушная линия электропередачи, система контроля, гололедно-изморозевые отложение.

Воздушная линия электропередачи является важной составляющей в процессе передачи и распределения электроэнергии. Воздушные линии (ВЛ) сооружаются в районах с различными климатическими условиями, которые влияют на механическую прочность элементов ВЛ [1]. Неблагоприятные климатические условия, вызывающие образование плотного ледяного осадка и гололедно-изморозевых отложений (ГИО) на проводах, представляют серьезную опасность для функционирования линии электропередач. Появление значительной механической нагрузки на провода, обрыв линий электропередач (ЛЭП), недопустимо близкое сближение проводов и их сильное раскачивание «пляска» – все это может привести к перебоям в электроснабжении или даже стать причиной серьезной аварийной ситуации [1]. Для обеспечения надежной работы электрических сетей и повышения эффективности передачи электрической энергии необходимо в климатических зонах повышенного гололедного отложения оперативно локализовать место образования ГИО и принимать меры по его ликвидации.

В настоящее время основным методом обнаружения гололедных отложений является визуальный осмотр, проводимый специальным персоналом при обходе и объезде ЛЭП. Одним из недостатков данного метода является отсутствие возможности прогнозирования аварийных ситуаций. Для предотвращения аварий и рисков необходимо использовать инновационные технические разработки и системы [2]. Одной из таких систем является автоматизированная система удаленного мониторинга и контроля гололедообразования, позволяющая своевременно и точно определять место повреждения [3]. Данная система обеспечивает постоянный контроль за состоянием проводов и автоматически оповещает операторов о возможности образования гололеда. Кроме того, системы мониторинга гололедообразования позволяют определить степень накопления гололеда на проводах.

Система контроля гололедообразования и контроля стрелы провисания проводов, представленная в работах [4], позволяет определить толщину ледяной стенки, массу ледяных отложений и провес провода. Система мониторинга параметров линии электропередач состоит из следующих компонентов: 1 – оптического датчика, 2 – электронного модуля, 3 –

солнечной панели, 4 – GSM-антенны и 5 – температурного датчика (рисунок 1). Оптический датчик представляет собой видеокамеру, способную работать в ночное время, благодаря специальному защитному боксу. Принцип работы заключается в визуальной проверке провода, попадающего в поле зрения оптического датчика, на наличие ГИО. Система искусственного интеллекта выделяет провод, гирлянду изоляторов и арматуру, удерживающую провод, рассчитывает угол провисания провода, стрелу провисания и массу ледяных отложений. При превышении заданных параметров, полученная информация передается в диспетчерский пункт. Данная система позволяет с большой точностью определять наличие или отсутствие ледяных образований на ЛЭП, а искусственный интеллект, принимающий решение о наличии гололеда, снижает нагрузку на диспетчерский персонал [4].

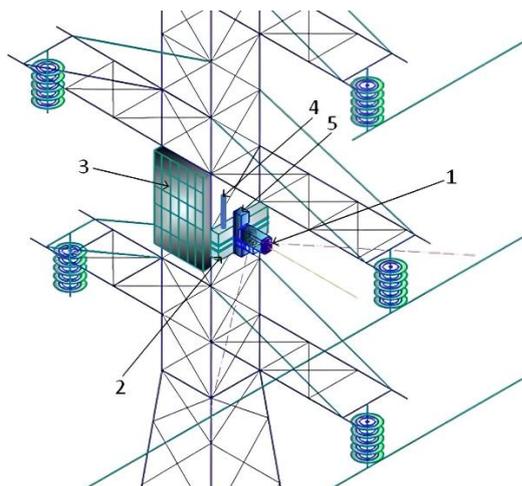


Рисунок 1 – Размещение разработанного устройства на опоре ЛЭП

Отечественная компания «МИГ» занимается разработкой систем мониторинга интенсивности гололедообразования. Систем позволяет осуществлять мониторинг гололедообразования на проводах ЛЭП, контролировать метеорологическую обстановку в районе расположения ВЛ, контролировать плавку ГИО [5]. В систему входят следующие компоненты: модуль температуры влажности воздуха и атмосферного давления, модуль определения скорости и порывов ветра, а также его направления и модуль контроля температуры проводов [5].

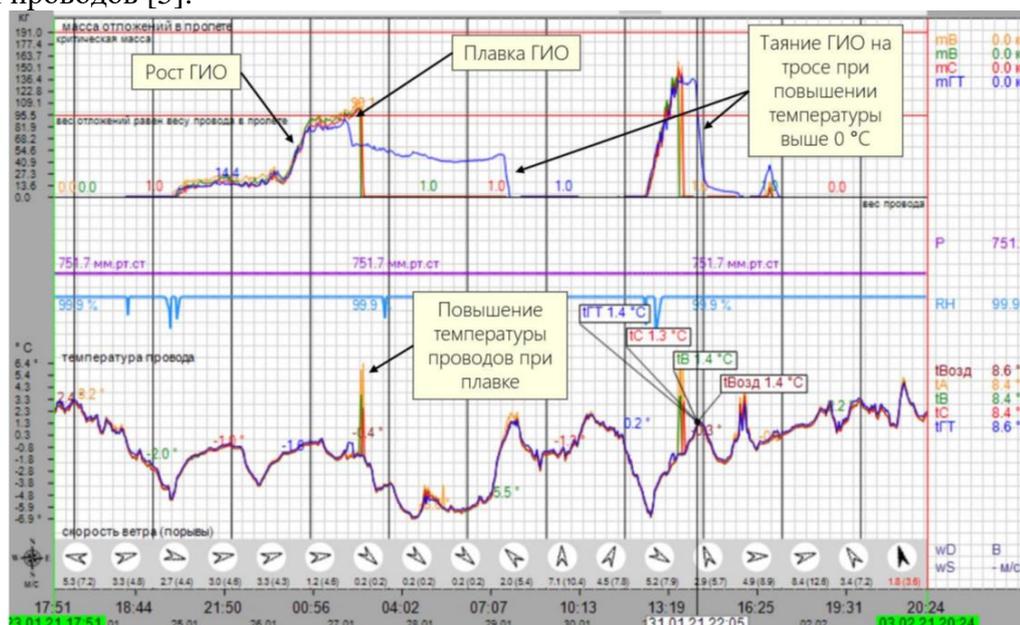


Рисунок 2 – Срабатывание системы МИГ при плавке льда

Использование данной системы мониторинга гололедообразования позволяет своевременно реагировать и выявлять момент начала гололедообразования, принимать необходимые меры для предотвращения возможных аварийных ситуаций.

Применение систем мониторинга гололедообразования на ВЛ позволит контролировать гололедно-ветровые нагрузки на всем протяжении линии, что снизит не только количество аварийных ситуаций, но и сократит определение мест повреждений, а также значительно улучшит эффективность электросетевых компаний в условиях неблагоприятной погоды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бучинский В.Е. Гололед и борьба с ним. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 68 с.
2. Минуллин Р.Г. Методы и аппаратура определения мест повреждений в электросетях. Казань: Энергопрогресс, 2002. 152 с.
3. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. М.: МЭИ, 2007. 448 с.
4. Пантелеев В.И., Малеев А.В. Система мониторинга интенсивности гололедообразования на проводах воздушной линии электропередачи // Омский научный вестник. 2020. № 6 (174). С. 74–80. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80.
5. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололедообразования на воздушных линиях электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 3-4. С. 69-79.

ТИПЫ ВОЗНИКАЮЩИХ ДЕФЕКТОВ НА ВЛ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Татур Игорь Эдуардович, студент группы 8Э-22, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: igortacher17@mail.ru

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

В данной работе рассматривается процесс диагностики линий электропередач, типы возникающих дефектов на линиях электропередач. Проводится анализ целесообразности развития технологии диагностирования с помощью БЛПА объектов электроэнергетического комплекса.

Ключевые слова: линия электропередач, БЛПА, диагностика электрооборудования, аэродиагностика.

Известный факт, что линии электропередач, подвержены воздействию шквалистых ветров, гроз, ударов молний, биологических объектов. Воздействие дикой природы, включая зарастание кустарниками и деревьями охранной зоны линии, загрязнения изоляторов, старение оборудования, коррозия, гололедные явления приводят к тому, что существующие линии электропередач (ЛЭП) достаточно быстро исчерпывают свой ресурс прочности и приходят в негодность.

На сегодняшний день запас прочности основных фондов оборудования энергетического комплекса исчерпан, по различным оценкам, от 65 до 80 % электрооборудования выработало уже не один срок службы, что, несомненно, сказывается на качестве электроснабжения растущего числа потребителей.

Решение данной проблемы, на первый взгляд кажется достаточно простым – полная замена технически и морально устаревшего оборудования, имеющего высокий уровень потерь. Однако данное решение требует колоссальных финансовых вложений, поэтому необходимо выработать стратегию по рациональному определению дефектов на ЛЭП и

своевременному их устранению. В процессе эксплуатации техническое состояние проводов ухудшается, в частности теряется их механическая прочность и проводимость.

На ВЛ образуются такие дефекты:

- наброс;
- наличие оборванных или перегорелых проволок;
- коррозия и окисление проводов и грозозащитных тросов;
- потеря несущей способности;
- перегрев провода, вследствие высоких нагрузок;
- дефекты соединений, вязки, сварных элементов, наличие перегибов.
- дефекты опор:
 - загнивание деревянных опор;
 - трещины и сколы железобетонных опор, оголение арматуры;
 - обрывы и ослабление проволочных бандажей.
- разрушение фундамента опор
- дефекты изоляторов:
 - сколы изоляторов наличие трещин;
 - наличие следов перекрытия;
 - неправильная установка штыревого изолятора на штырь или крюк.

Данные дефекты и многие другие становятся причиной обрывов проводов, грозозащитных тросов, разрушения траверс, падение опор, аварийных отключений, создающих смертельную опасность для человека и животных. Кроме того, при обрыве провода и замыкании на землю возникающий ток растекается по земле, создает опасную область, где можно попасть под шаговое напряжение.

Поэтому разработка эффективных методов выявления дефектов на линиях электропередачи является одной из ключевых задач в области электроэнергетики. К основным способам относят пешие обходы, геодезические измерения, аэрофотосъемка, космическая съемка и другие. Большинство компаний в своей работе использует традиционные пешие осмотры. Персоналом производится оценка состояния конструкций опор, вязки проводов, состояние изоляторов и т.д. Полученная информация систематизируется с привязкой к географическому положению ВЛЭП, фиксируется отклонения от норм технической эксплуатации линии, анализируется состояние охранной зоны. Пешие осмотры не позволяют в полной мере оценить состояние ВЛЭП, поэтому при необходимости производят верховые осмотры с помощью вышек периодичностью не реже одного раза в шесть лет.

Один из основных перспективных методов верховых осмотров электрооборудования - это аэродиагностика с помощью БПЛА. Во многих энергетических компаниях России начинается постепенное внедрение данной технологии обследования электроустановок. БПЛА – это летательный аппарат без экипажа на борту БПЛА может быть управляемым дистанционно или же полностью автоматическим [1]. На рисунке 1 изображен БПЛА, оснащенный камерами многократного приближения DJI Z30, H20.



Рисунок 1 – БПЛА, оснащенный камерами многократного приближения DJI Z30, H20
Основными достоинствами верховых осмотров являются [2]:

- сокращение количества персонала, участвующего в осмотре.
- сокращение продолжительности обследования.
- не требует отключения обследуемой линии электропередач;
- формирование фотоархива в режиме высокой четкости;
- работа в труднодоступных местах. В местах пересечения с реками, оврагами, труднопроходимыми рельефами местности;
- исключение рисков несчастных случаев персонала.

В новой технологии распознавания дефектов используются фотографии и видео, получаемые с помощью беспилотников, управляемых сертифицированными пилотами. Для увеличения скорости работ можно использовать сразу 2-3 беспилотника. После аэрофотосъемки БПЛА производится анализ полученной информации с помощью системы интеллектуальной диагностики энергообъектов (СИДЭ). Результаты аэродиagnостики загружаются в систему в виде фотоматериалов изображенных на рисунке 2.

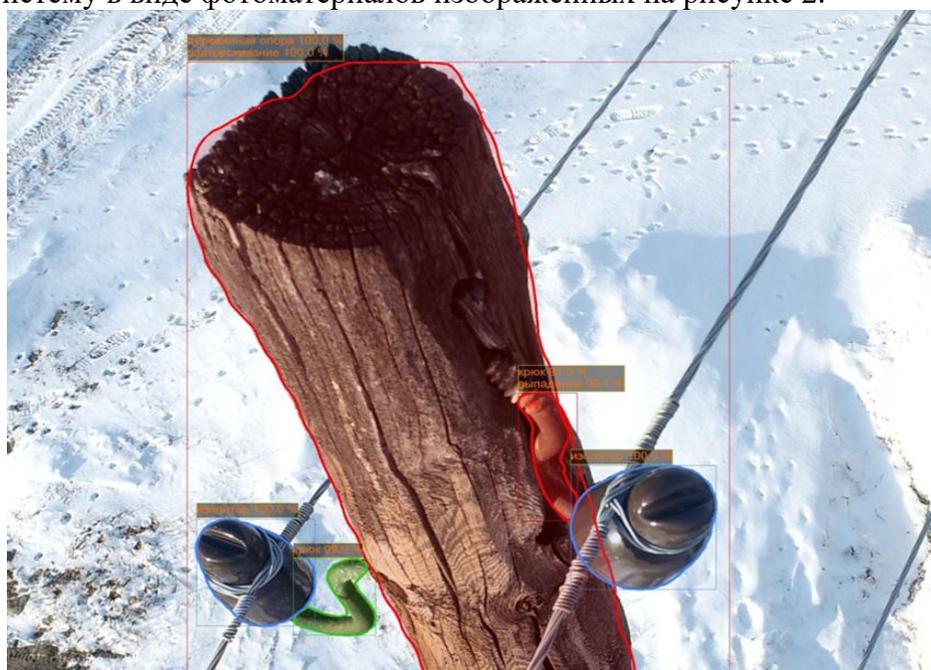


Рисунок 2- Фотоматериалы, полученные в ходе аэродиagnостики

Благодаря заранее запрограммированным алгоритмам Система интеллектуальной диагностики выявила растрескивание опоры с вероятностью близкой к 100%, а выпадение крюка с вероятностью 99,1%. Ресурсы искусственного интеллекта также способны присваивать степень повреждения электроустановок и сигнализировать об этом оператору.

Специалистам энергокомпаний остается подтвердить полученный результат и спланировать проведение ремонтно-восстановительных работ. Эта система позволяет сотрудникам сетевых компаний своевременно проводить ремонтные работы и не допускать высокого числа аварийных отключений.

Стоимость оборудования комплекса БПЛА составляет около 1,2 млн. руб., стоимость, стоимость фотограмметрического ПО для обработки от 200 тыс. руб., Аналитическое ПО – от 50тыс. руб.[3].

Опыт и перспективы применения БПЛА для обследования ВЛЭП определяется положительно. Применение данного метода позволяет проводить обследования более качественно, при этом, не прекращая электроснабжения потребителей. Многообещающим выглядит направление по интеграции беспилотной техники с элементами искусственного интеллекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арбузов Р.С. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи / Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников. — Новосибирск: Наука, 2009. — 135 с.
2. Рыбцов В.А. Верховой осмотр воздушных линий электропередач с использованием квадрокоптера / В.А. Рыбцов, Р.А. Осипенко // Экономика и социум. – 2018. – № 5 (48). – С. 1034.
3. Связь Спецзащита / Энергетика [Электронный ресурс] <https://rusdrone.ru/otrasli/energetika/> (дата обращения 09.04.23).

Научное электронное издание

ПОСТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**МАТЕРИАЛЫ I РЕГИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(27 НОЯБРЯ – 8 ДЕКАБРЯ 2023 Г.)**

Материалы публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 31.12.2024
Объем электронного издания 3 Мб.

Издательство Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова,
656038, Барнаул, пр. Ленина, 46.

[В начало](#)