

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук
Петроченкова Антона Борисовича на диссертацию соискателя
Джассим Хайдер Майтам Джассим «Microgrid-Based Power Supply Control System For Stacker Cranes / Система управления электроснабжением кранов-штабелеров на основе Микрогрид», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» и 2.4.3 – «Электроэнергетика»

Диссертационная работа Джассима Хайдера М. Д. посвящена вопросам повышения энергетической эффективности систем электроснабжения кранов-штабелёров, входящих в большую группу подъёмно-транспортных механизмов, получивших в последние годы широкое распространение.

В работе в качестве объекта исследования рассматривается система управления электроснабжением стеллажных кранов-штабелёров, многодвигательные электроприводы которых характеризуются рядом особенностей, таких как режим рекуперации энергии с пиковой нагрузкой на питающую сеть. Учитывая указанные особенности, для повышения эффективности функционирования в диссертационной работе предлагается организовать управление электроснабжением складского комплекса кранов-штабелёров на основе технологий Микрогрид и системы «multi-drive». Следует отметить, что в отечественной научной литературе такого комплексного подхода к разработке систем управления электроснабжением многодвигательных электроприводов подъёмно-транспортных механизмов не приводится.

Автором чётко и однозначно сформулированы **научные положения, выносимые на защиту**:

1. Алгоритмы автоматического регулирования системы управления электроснабжением и рекомендации по их применению в электротехническом комплексе.

2. Топология и параметры широкодиапазонного LLC-резонансного преобразователя для зарядного устройства аккумуляторов.

3. Структура программно-аппаратного комплекса эмуляции аккумуляторной батареи реального времени.

4. Система электроснабжения электроприводов автоматизированного складского комплекса кранов-штабелеров с аккумуляторным накопителем энергии, обеспечивающая возможность интеграции возобновляемых источников энергии.

Их новизна подтверждается результатами работы, которые отличаются от известных тем, что:

- обоснованы рекомендации по выбору типа и параметров регуляторов

мощности для системы электроснабжения автоматизированного складского комплекса, работающего в режиме Микросети в условиях автономной и параллельной работы с сетью на основе уровня доступности локальных источников энергии, размера и конфигурации склада, а также требований питающей электросети;

- разработана методика расчёта и реализация резонансного DC-DC – преобразователя с фазовым управлением с широким диапазоном регулирования выходного напряжения для зарядного устройства аккумуляторов;
- разработана методика синтеза элементов силовой структуры и регуляторов эмулятора аккумуляторной батареи реального времени на основе технологии PHiL;
- предложена структура системы электроснабжения группы подъемно-транспортных механизмов складского комплекса с аккумуляторной батареей, обеспечивающая эффективную работу в режимах сетевой и изолированной Микросети.

Теоретическая значимость работы заключается в результатах исследований и разработки регуляторов для различных режимов работы систем электроснабжения с накопителями энергии, которые могут быть распространены на широкий спектр технических приложений.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по проектированию системы электроснабжения вновь проектируемых складских комплексов для компании ООО «Рухло», г. Екатеринбург с применением аккумуляторных систем.

Апробация работы. Результаты работы доложены на 11 конференциях различного уровня.

Публикации. Основное содержание диссертационного исследования опубликовано в 17 научных работах, из них 6 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 1 статью в издании, входящем в МБД Scopus и WoS; получен 1 патент РФ на изобретение и 2 свидетельства о гос. регистрации программ для ЭВМ.

Анализ содержания диссертации

Работа включает в себя введение, 5 глав, заключение, библиографический список из 135 наименования и 10 приложений, изложенных на 165 страницах текста, содержит 126 рисунков и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного

исследования, описана степень ее проработанности, отражена основная идея работы, сформулирована цель и основные задачи исследования.

В первой главе представлен анализ научных публикаций и современных технологий, связанных с компонентами предлагаемой автором системы электроснабжения. Автор отметил недостаток исследований по накопителям в автоматизированных стеллажных кранах, что обосновывает их выбор в качестве объекта. Показано, что интеграция возобновляемых источников через общую DC-шину для питания группы кранов и применение схемы электроснабжения отдельного крана с аккумуляторной батареей могут повысить эффективность и снизить затраты.

Во второй главе исследованы алгоритмы и регуляторы управления потоками энергии для обеспечения баланса активной и реактивной мощности, стабильности напряжения и частоты в электротехнических комплексах складских Микросетей. Основное внимание уделено двум ключевым подходам, выбранным за их эффективность и соответствие требованиям складов. Первый - регулятор статизма сети, управляющий двунаправленным AC/DC преобразователем и обеспечивающий распределение энергии и снижение пиков нагрузки даже при динамических изменениях. Для настройки и оптимизации параметров регулятора предложено использовать метод "роя частиц". Второй тип регулятора для управления аккумуляторной системой в изолированном режиме, успешно работающий с зашумленными данными о генерации и потреблении, основан на нечеткой логике. Кроме того, в главе рассмотрены методы компенсации задержек линии (параллельные контроллеры с регулированием по спаду напряжения) и стабилизации преобразователя (алгоритм скользящего режима), а также даны рекомендации по их внедрению в систему управления электроснабжением кранов-штабелёров в зависимости от конфигурации нагрузки и системных требований. Эффективность предложенных решений подтверждена компьютерным моделированием.

В третьей главе представлены результаты исследования и разработки зарядных устройств для аккумуляторных батарей. Предложена топология широкодиапазонного LLC-резонансного преобразователя (60 кГц), сочетающая преимущества «мягкого» переключения LLC-топологии и расширенный диапазон регулирования напряжения. Параметры преобразователя рассчитаны методом первой гармонической аппроксимации (FHA), обеспечивающим требуемое выходное напряжение. Приведены результаты компьютерного моделирования работы зарядного устройства с аккумулятором и

экспериментальные испытания опытного образца, которые подтвердили корректность моделирования и адекватность метода ФНА вблизи резонансной частоты. Успешная верификация параметров преобразователя в среде MATLAB и на практике подтверждает применимость разработанной топологии и методики расчета.

В четвертой главе описывается разработка и реализация испытательного стенда для зарядных устройств аккумуляторных систем на основе технологии Power-Hardware-in-the-Loop. В составе стенда используется модель Шеперда-Тевенина литий-ионного аккумулятора для эмуляции реакции батареи в реальном времени. Специализированные регуляторы напряжения и тока компенсируют отклонения, стенд реализован на базе аппаратной платформы NI-DAQ PXI-6025e и микроконтроллеров STM32, а также программного обеспечения LabVIEW и MATLAB с уникальными функциями ограничения и обработки считываемых сигналов. Приведено сравнение эмулируемых характеристик напряжения и состояния заряда с реальной литий-ионной батареей, подтверждающее высокую точность эмуляции реакции аккумулятора и воспроизведение ключевых зон разрядной кривой.

В пятой главе описывается реализация системы электроснабжения подъемно-транспортных механизмов складского комплекса с интеграцией аккумуляторной батареи и возобновляемых источников энергии. Разработанное решение обеспечивает энергетическую автономность кранов-штабелеров за счет рекуперации энергии торможения и гибкого управления потоками энергии посредством двунаправленных преобразователей. Система демонстрирует устойчивую работу в различных сценариях: при отключении от сети, пиковых нагрузках и взаимодействии с солнечными панелями. Ключевым преимуществом является сохранение рабочих характеристик крана без перенастройки при любых изменениях в системе питания. Результаты экспериментов на реальном механизме подтвердили эффективность предлагаемой автором архитектуры. Показано, что применение нечеткого алгоритма для управления двунаправленным DC/DC преобразователем позволяет оптимизировать распределение энергии между кранами, улучшив состояние батарей, а внедрение системы в реальный проект ООО «Рухло» (г. Екатеринбург) позволит снизить энергопотребление на 15-20% за счет устранения рассеивания энергии на резисторах и использования рекуперированной энергии.

В заключении приводятся общие выводы по работе и приводятся

рекомендации по развитию темы.

В приложениях содержатся дополнительные результаты по главам диссертации, включая акт о внедрении и копии регистрационных документов на программы для ЭВМ и патент на изобретение.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, опубликованные статьи в полной мере отражают основные положения и результаты диссертационного исследования.

Замечания и вопросы по диссертации:

1. В чем смысл использования нечеткого логического регулятора вместо классического регулятора в Главе 2, и на каком основании выбираются нечеткие правила, представленные в таблице 2.3.

2. Исходя из графиков в Главе 2, импульсная нагрузка аккумулятора составляет +/- 20 А. Учитывая, что за 2 секунды возникнет множество циклов заряда/разряда, аккумулятор не сможет работать с такой нагрузкой долго и быстро выйдет из строя. Объясните, почему для питания электротехнического комплекса был выбран аккумулятор, а не суперконденсатор?

3. Имеются небрежности в оформлении блок-схемы алгоритма на рис.2.3.

4. Каковы ограничения по мощности предлагаемого испытательного стенда зарядных устройств? Как можно повысить его мощность?

5. На каком основании выбраны литий-ионные аккумуляторные батареи вместо суперконденсаторов в электроснабжении складских кранов? В диссертации предложены ряды емкостей аккумуляторных батарей. На каком основании они выбираются на практике?

6. Уточните правила формирования профиля скоростей в системе регулирования электроприводов крана-штабелера?

7. В разделе 4.3.4 было бы уместно привести структурную схему HIL-теста.

8. В пятой главе диссертации на диаграммах крутящего момента электроприводов крана присутствуют значительные перерегулирования. Объясните, почему они появляются в ваших результатах?

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Джассима Х. М. Д.

Заключение

Анализ содержания диссертации Джассима Х. М. Д. показывает, что работа написана логически последовательно, корректным с научной и технической точки зрения языком, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты,

что свидетельствует о личном вкладе автора в науку и соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «УрФУ», в том числе п. 9, 10 и 14.

Оценивая уровень работы в целом, считаю, что диссертация Джассима Х. М. Д. «Microgrid-Based Power Supply Control System For Stacker Cranes / Система управления электроснабжением кранов-штабелеров на основе Микрогрид», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой и вносит существенный вклад в решение важной научно-технической задачи повышения эффективности функционирования электротехнических комплексов, содержание работы соответствует требованиям паспортов научных специальностей 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы и 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки), а её автор – Джассим Хайдер Майтам Джассим, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» и 2.4.3 – «Электроэнергетика».

Официальный оппонент:

Ректор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доктор технических наук, доцент

_____ Петроченков Антон Борисович

« 02 » _____ 2025 г.

614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к.225

Тел. +7 (342) 2-198-068

Email: petrochenkov@pstu.ru.

Подпись А. Б. Петроченков заверяю:

