



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

*федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования*

**«Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: altgtu@list.ru ;

ntsc@desert.secna.ru;

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

24.10.2023 № 1620-55-2595

Г О направлении отзыва
ведущей организации Г

«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор Федерального
государственного
бюджетного образовательного
учреждения
высшего образования «Алтайский
государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»
д.т.н., профессор
Марков Андрей Михайлович



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» на диссертационную работу Червоненко Андрея Павловича «Алгоритмы управления промышленными устройствами компенсации провалов напряжения с накопителями энергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлена диссертация «Алгоритмы управления промышленными устройствами компенсации провалов напряжения с накопителями энергии», которая состоит из введения, четырех глав, основных результатов, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков и 14 таблиц, списка литературы из 73 наименований и автореферат диссертации.

Актуальность темы исследования

Диссертация Червоненко Андрея Павловича посвящена вопросу разработки и исследования устройств и алгоритмов компенсации провалов напряжения, необходимых для осуществления бесперебойной работы электротехнических комплексов. В работе задача управления электрическим приводом сформулирована как задача повышения энергоэффективности, связанной с безударностью переключения нагрузки на резервные источники питания и повышением показателей надежности электротехнического комплекса в целом.

Актуальность темы определяется недостаточной изученностью вопросов разработки алгоритмов и устройств автоматического переключения источника питания электропривода. Многообразии режимных условий, особенности перегрузки, броски тока, снижение напряжения в момент переключения делают поставленную в диссертации задачу во многом исследовательской, жестко подчиненной требованиям технического задания на разработку электропривода.

В диссертации Червоненко А.П. подробно проанализированы пути и решены задачи, направленные на разработку алгоритмов управления высоковольтным электроприводом, а именно:

- выполнен обзор известных технических решений для устройств компенсации провалов напряжения, систем электроснабжения электротехнических комплексов и промышленных предприятий, выбрана для исследования схема электроснабжения и тип устройство компенсации провалов напряжения (УКПН);

- осуществлен синтез и исследование системы управления устройствами автоматического ввода резерва (АВР) и быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР) для потребителей общей установленной мощностью более 500 кВт с вентиляторным характером нагрузки, предложен алгоритм выбора структуры системы управления и ее параметров для АВР и БАВР;

- осуществлен синтез и исследование системы управления устройством быстродействующего автоматического ввода резерва с накопителем электрической энергии, выбран тип накопителя энергии для работы в режиме источника бесперебойного питания (ИБП) на время не более 5 секунд и замещением аварийной сети за время не более 100 мс, оценены отклонения технологических параметров и возможность использования УКПН в составе частотно-регулируемого электропривода объектов ЖКХ;

- разработан имитационный учебно-исследовательский стенд электротехнического комплекса для оценки практической применимости разработанных алгоритмов управления УКПН.

Объект исследования: устройства, обеспечивающие бесперебойную работу электротехнических комплексов разного уровня ответственности.

Оценка структуры и содержания работы

Краткая характеристика работы. Содержание и структура диссертационной работы находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования. Диссертация написана ясно, использованная терминология и стиль соответствуют общепринятым нормам.

Во введении дана общая характеристика работы: актуальность, цель и основные задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, методы исследований, достоверность, реализация и внедрение полученных результатов, апробация и публикации, основные защищаемые положения. Приведены структура и краткое содержание диссертации.

Первая глава диссертации посвящена общим вопросам реализации существующих технических решений УКПН. В частности, рассматривается вопрос построения и топологий существующих систем электропитания промышленных предприятий. Рассмотрен вопрос технической реализации и алгоритмов автоматического управления устройством автоматического ввода резерва, топология и назначение устройства быстродействующего автоматического ввода резерва, приводятся преимущества

данного технического решения. Определяется роль использования накопителей энергии в вопросах проектирования УКПН. Отмечаются возможности использования суперконденсаторов для исключения влияния провалов напряжения на работу ответственных электротехнических комплексов. Рассматриваются варианты электроснабжения от энергетической системы, в результате чего делается выбор в пользу варианта с одной мощной главной понизительной подстанцией на все предприятие, что соответствует предприятию средней мощности с концентрированным расположением нагрузок.

Вторая глава диссертации посвящена синтезу и исследованию системы управления устройствами автоматического ввода резерва и быстродействующего автоматического ввода резерва. Осуществлен выбор объекта исследования (технологический процесс и режимы работы районной тепловой станции), конкретизированы параметры источника энергии и трансформаторов, нагрузки и уставки срабатывания выключателей АВР и БАВР. Осуществлен выбор системы электроснабжения предприятия, использующей напряжение энергетической системы 110 кВ. Определены параметры понижающих трансформаторных подстанций напряжением 110/10 кВ и 10/6 кВ, асинхронного двигателя (АД) номинальной мощностью 1 МВт. Реализован подход взаимозаменяемости и исключения сгруппированных подструктур без ущерба для целостности всего алгоритма вычисления благодаря модульному виду общей структуры модели энергосистемы. Составлено руководство к пользованию имитационной моделью, в котором подробно рассмотрен вопрос построения и настройки системы. Определен подход к составлению системы управления УКПН, подразумевающий использование функционала раздела Matlab «Stateflow». Предложен подход к составлению системы управления БАВР, построенной на опыте выбега асинхронного двигателя, подкрепляющийся серией исследований на цифровой модели. Определены перспективы использования системы управления БАВР, построенной на опыте выбега АД, связанные с прогнозированием поведения системы с использованием глубокого обучения.

Третья глава посвящена синтезу и исследованию системы управления устройством компенсации провалов напряжения с накопителем электрической энергии. Определено место включения накопителя энергии, описан технический смысл его использования. Проведен анализ типов накопителей, произведен расчет его энергоемкости. Обоснованно принято решение о компоновке конечного обобщенного устройства накопления энергии из суперконденсаторных модулей. Произведен структурный синтез для переключения нагрузки на накопитель энергии и с накопителя энергии на резервную сеть, в результате чего работа синтезированных структур в целом определяет практическое отсутствие фазового и амплитудного рассогласований напряжений инвертора и резервной сети к моменту физического замыкания коммутирующих устройств БАВР. Осуществлена оценка технологических параметров (напора и расхода) центробежного сетевого насоса, в результате которой можно сделать вывод о преимуществе использования системы БАВР. Приводятся рассуждения, касающиеся работы представленных алгоритмов управления в составе электротехнического комплекса с частотно-регулируемым электроприводом (ЧРЭП), в результате которых делается вывод о возможности безостановочной и безаварийной работы при внедрении ПЧ в разработанную систему компенсации провалов напряжения.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке учебно-исследовательского стенда электротехнического комплекса с УКПН. Приводятся разработанные чертежи и

сопроводительная конструкторская документация в виде: спецификации, монтажной схемы, комплектации главного щита, электрической принципиальной схемы. Подтверждается экспериментальная часть фотографиями выполненной установки в виде общего вида стенда и скоммутированного главного щита.

В заключении обобщены результаты проведенных в рамках диссертационной работы исследований.

Новизна полученных результатов

1. Предложен подход к разработке системы управления быстродействующим автоматическим вводом резерва на основе опыта выбега асинхронного двигателя. Предложенный подход отличается от известных тем, что позволяет осуществлять переключение нагрузки с аварийной сети на резервную при частичном или полном отсутствии информации о состоянии ЭДС выбегающей нагрузки. При его расширении методами нечеткой логики и машинного обучения возможно динамическое изменение точности синхронизации аварийной и резервной сети в процессе эксплуатации системы электроснабжения электротехнического комплекса.

2. Предложен и реализован способ переключения аварийной нагрузки, предполагающий промежуточное её подключение к накопителю электрической энергии с последующим переводом на резервную сеть, работающий по алгоритму быстродействующего автоматического ввода резерва. Алгоритм предполагает выполнение всех режимов синхронизации, позволяющих реализовать функцию безударного переключения нагрузки. Это отличается от известных отсутствием фазового и амплитудного рассогласований между источниками напряжений в момент перевода нагрузки.

3. Разработан новый подход к составлению имитационных моделей электротехнических комплексов, подразумевающий сочетание нескольких исследуемых топологий, с возможностью выбора конкретного типа исследования внутри одной полновесной структуры. Предложенный подход позволяет оптимизировать процесс проектирования систем электропитания электроприводов ответственных механизмов, а также уменьшить время на исследование результатов проектирования за счет ускорения процесса вычисления и количества необходимых итераций.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных Червоненко А.П. результатов базируется на методах математического моделирования, обусловлена корректностью постановки задач, адекватностью используемых при исследованиях математических моделей, методов и алгоритмов, апробацией как предварительных, так и окончательных результатов диссертационной работы.

Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования заключается в том, что они на стадии разработки высоковольтного электропривода на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяют внедрить алгоритмы и выполнить техническую реализацию устройств безударного переключения нагрузки между источниками питания, в частности, накопителем энергии.

Результаты работы приняты к применению по следующим направлениям: разработка и производство системы накопления энергии (СНЭ) и проектирование

устройств стабилизации постоянного напряжения (УСПН) ООО «Системы Постоянного Тока», в качестве материалов для организации работ в рамках работы с учебными заведениями в России и Республике Беларусь, развития учебных и испытательных лабораторий компании IEK GROUP.

Кроме этого, результаты исследования могут быть применены в учебном процессе при изучении дисциплины «Автоматизация электротехнических и технологических комплексов» в рамках подготовки студентов по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также в научно исследовательской работе бакалавров и магистрантов.

Общее количество публикаций: 10 печатных работ, 3 из которых – в журналах из перечня ВАК, 1 – в трудах научных конференций, индексируемых в наукометрических базах Scopus, WebofScience, 5 – в материалах и трудах всероссийских и международных научных конференций.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы, поскольку результаты представляют собой законченные научные и технические исследования и разработки в области устройств безударного переключения питания электропривода.

В работе присутствуют результаты, соответствующие областям исследования паспорта специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы по техническим наукам: 1 – развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования, 3 – разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления, 4 – исследование работоспособности и качества функционирования электро-технических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов.

В рамках работы изложены новые научно обоснованные технические положения и технологические решения по разработке алгоритмов управления высоковольтным асинхронным электроприводом с функцией безударного переключения нагрузки на питающую сеть:

- последовательность действий при выборе и методика выбора устройства компенсации провалов напряжения;

- способ реализации, структура и результаты исследований алгоритма переключения нагрузки на резервную сеть с использованием БАВР, система управления которого построена на основании данных опыта выбега асинхронного двигателя;

- способ реализации, структура и результаты исследований алгоритма переключения нагрузки между источниками питания с использованием БАВР, включающего в свою структуру накопитель электрической энергии;

- подходы к проектированию учебно-исследовательского стенда, позволяющие выполнять проверку и отладку разрабатываемых алгоритмов управления УКПН.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации

Предложены и инженерно обоснованы критерии выбора устройства компенсации провалов напряжения в зависимости от условий и режимов функционирования технологического процесса, в котором электропривод является основным потребителем электрической энергии. Даны практические рекомендации по выбору УКПН в зависимости от различных факторов. Предлагаемые к внедрению алгоритмы безударного переключения нагрузки между источниками питания, в частности накопителем энергии, обеспечивают бросок момента двигателя не более, чем на 150 % от его номинального значения. В том числе предлагаемые алгоритмы обеспечивают неотклонение параметров технологического процесса (напора и расхода насоса) от номинальных значений более, чем на 10 %, а полное время замещения аварийной сети не превышает 100 мс. По описанным выше техническим показателям предлагаемые к внедрению алгоритмы могут находить свое применение в промышленных установках с ЧРЭП. Разработан учебно-исследовательский стенд, имитирующий работу энергетической системы и предназначенный для процесса проверки и отладки алгоритмов управления УКПН перед непосредственным внедрением их в систему электроснабжения реального промышленного объекта.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты исследований диссертанта могут быть использованы на предприятиях, связанных с разработкой асинхронного электропривода, в составе которых применяются устройства компенсации провалов напряжения. Материалы диссертации могут найти применение, например, в НТК «Криогенная техника» (г. Омск), НПФ «Мехатроника-ПРО» (г. Томск), ООО «Сибирь-мехатроника» (Новосибирская область). Результаты исследований могут быть востребованы в научной работе и образовательном процессе в профильных высших учебных заведениях.

Замечания по диссертационной работе и автореферату

1. Автору следовало бы привести математические модели для анализа переходных процессов с подробным обоснованием.
2. В диссертации не представлены макетные образцы и технические характеристики разработанных устройств безударного переключения нагрузки, а также результаты экспериментальных исследований, полученных на их основе.
3. Не рассмотрен вопрос об экономическом эффекте от внедрения разработанных алгоритмов управления высоковольтным асинхронным электроприводом с функцией безударного переключения нагрузки на питающую сеть. Необходимо привести оценочное технико-экономическое обоснование при внедрении разработанной технологии с указанием основных факторов, определяющих экономическую эффективность.
4. В главе 3 представлена структурная схема формирования сигнала задания на напряжение U_{abc} для ШИМ генератора до момента включения накопителя в основную сеть, глубина модуляции при этом 0,95. В главе 4 при оценке работы системы управления устройством компенсации провалов напряжения в составе частотно-регулируемого электропривода, речь идет о глубине модуляции 0,85.

5. В диссертации не приводится оценка влияния различных топологий высоковольтных преобразователей частоты на надежность и КПД электропривода в целом.

6. В диссертации не приводятся значения мощности предлагаемых фильтров высших гармонических составляющих напряжения, что позволило бы оценить экономический эффект.

7. В тексте диссертации на стр. 155 приводится значение индуктивности токоограничивающего реактора, указывается, что при данном значении амплитуда уравнивающего тока не превышает 20% от номинального тока преобразователя частоты, однако, не приводится методика для расчета уравнивающего тока, не указаны нормативные требования к нему, что не позволяет оценить 20% превышение амплитудного значения. Также не представлена осциллограмма уравнивающего тока, что не позволяет провести сравнительный анализ с током АДКЗР.

8. Объектом исследования на стр.8 указан высоковольтный частотно-регулируемый асинхронный электропривод с вентиляторным характером нагрузки, однако, в актуальности темы исследования (стр. 5) в первой главе (рис. 1.4, стр. 19), в выводах первой главы (п.2, стр. 47) и во второй главе (рис. 2.5, стр. 55) в качестве нагрузки электропривода указывается насосный агрегат, схема его подключения и его характеристики.

9. В диссертации разработано несколько алгоритмов управления высоковольтным асинхронным приводом с функцией безударного переключения нагрузки на питающую сеть, однако государственную регистрацию имеет только один алгоритм.

10. Требуется пояснить, за счет чего алгоритмы искусственного интеллекта и/или нечеткой логики способны повысить точность синхронизации ЭДС выбегающего двигателя с ЭДС питающей сети.

Заключение

Задачи, рассмотренные в диссертационной работе, являются актуальными. Предложены алгоритмы безударного переключения высоковольтного электропривода на промышленную сеть. Алгоритмы переключения могут быть реализованы в устройствах быстродействующего автоматического ввода резерва.

Практическая реализация разработанных алгоритмов возможна в следующих областях: производство высоковольтного электропривода на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Указанные замечания не снижают научной ценности представленной диссертации в целом. Диссертация Червоненко Андрея Павловича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-исследовательской работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа выполнена на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», а также требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 11.09.2021).

Уровень и количество публикаций автора, отражающих основные полученные результаты соответствуют пунктам 11 и 13 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021).

Работа аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация Червоненко Андрея Павловича «Алгоритмы управления промышленными устройствами компенсации провалов напряжения с накопителями энергии», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны в области повышения показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий.

Работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», принятого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021), а Червоненко Андрей Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертационная работа, автореферат диссертационной работы и отзыв рассмотрены, обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедр «Электротехника и автоматизированный электропривод», «Электроснабжение промышленных предприятий» и «Электрификация производства и быта» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» 17 октября 2023 года (протокол заседания № 2).

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электротехника и
автоматизированный электропривод»



Халина
Татьяна Михайловна

Доктор технических наук, профессор,



Куликова
Лидия Васильевна

Полное название организации: Федеральное государственное бюджетное образова-тельное учреждение высшего образования «Алтайский государственный техниче-ский уни-верситет им. И.И. Ползунова»

Почтовый адрес: 656038, Сибирский федеральный округ, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Контактный телефон: +7 (3852) 29-07-06 (справочная); +7 (3852) 29-07-10 (приемная ректора). e-mail: gig000@mail.ru (справочная); altgtu@list.ru

Официальный сайт организации: <https://www.altgtu.ru>

отзыв получен 14.11.2023г
М/Дядко МА

8

С отзывом ознакомлен
17.11.2023

ЕВ / Червоненко А.П.