

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
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 представлены диссертация общим объемом 152 страницы машинописного текста и автореферат объемом 20 страниц. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 73 источников, содержит 79 рисунков и 14 таблиц. Имеются свидетельство о государственной регистрации программы и Акты внедрения результатов работы. Диссертация работа выполнена в ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

**Актуальность темы диссертационной работы**

Современные электротехнические комплексы содержат взаимосвязанное оборудование энергосистем и промышленных предприятий, в числе потребителей, которых эксплуатируется значительная доля полупроводниковой преобразовательной техники, частотно-регулируемый привод (ЧРП) переменного тока, и поэтому кратковременные переходные процессы оказывает существенное влияние как на работу электрооборудования, так и приводят к ухудшению условий его эксплуатации.

Автором поставлена и предложено решение задачи, призванное компенсировать провалы напряжения и производить переключение нагрузки в случае возникновения аварии. Различные предложенные устройства отличаются сложностью реализации и качеством конечного результата.

Актуальность задачи разработки и исследования технических устройств и алгоритмов управления ими, способные компенсировать возмущающие воздействия во внешних сетях системы электроснабжения предприятия, и повысить надежность электромеханических систем за счет их безостановочной работы налицо.

**Анализ содержания диссертации и автореферата и их соответствия установленным требованиям.**

В первой главе автором дана классификация систем электроснабжения промышленных предприятий и устройств компенсации провалов напряжения. Рассмотрены и обобщены различные схемы исполнения рассматриваемых устройств.

Во второй главе диссертантом предложена и рассмотрена обобщённая электрическая схема объекта исследования (рис. 2.1). Параметры асинхронного двигателя и нагрузки с вентиляторным моментом на валу обосновано заданы автором, но не понятно, участвовала ли прочая нагрузка напряжением 10кВ в предложенной имитационной модели. На основании расчетов характерных режимов работы АД автор определил требования и системам быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР).

Заслуживает внимание включение в имитационную модель характерных подмоделей режимов работы потребителей, среди которых: моделирование системы АВР; модели опыта пуска и выбега асинхронного двигателя; модели БАВР с учетом параметров выбега двигателя; модели БАВР в совокупности с предложенным накопителем энергии.

Червоненко А. П. исследовал условия синфазного включения источников питания, выбор уставки снижения напряжения на аварийном вводе (10, 30%) и диапазон по рассогласованию фаз (5, 10,15) градусов. В работе сделан вывод, что в случае превышения величины уставки определения аварии свыше 10%, графики электромеханических переходных процессов характеризуются наличием бросков по моменту и току двигателя, превышающими предельно допустимые значения, а уменьшение допустимого рассогласования фаз ниже  $\pm 15$  электрических градусов является нецелесообразным (по причине возможного пропуска алгоритмом управления разрешенного момента переключения).

В третьей главе приведена модель и выполнены исследования системы управления устройством компенсации провалов напряжения (УКПН) с накопителем электрической энергии. Автором предложен алгоритм функционирования устройства, когда при возникновении аварии в системе электроснабжения ответственного потребителя, основная сеть выключается и в работу вступает накопитель энергии, замещающий питающую сеть. Как только заряда накопителя становится недостаточным для обеспечения функционирования потребителя в номинальном режиме работы, осуществляется переключение нагрузки на резервную сеть.

Червоненко А. П. исследовал структуру и параметры ПИ-регулятора разницы фаз напряжений инвертора и резервной питающей сети используя методику последовательного приближения. Автор сначала определил пропорциональную составляющую, а затем интегральную для достижения требуемого характера переходных процессов по фазовой коррекции. Полученные переходные процессы (изменения частоты вращения, момента, напряжения и тока статора) выбега двигателя, переключения питания с аварийной сети на накопитель энергии, разгона АД до номинальных значений

при питании его от накопителя энергии и переключения питания двигателя с накопителя на резервную сеть, показали, что за счет точной синхронизации ударный момент и бросок тока не превышают 1,5 от текущего значения момента и тока статора двигателя.

В данной главе приведены алгоритмы управления предложенного устройства, когда нагрузка представляет из себя частотно-регулируемый привод. В результате сравнения времени срабатывания защиты преобразователя частоты и времени срабатывания БАВР сделан вывод о возможности безостановочной и безаварийной работы при внедрении ПЧ в разработанную систему компенсации провалов напряжения.

В четвертой главе разработан учебно-исследовательский стенд электротехнического комплекса с УКПН. Практическая апробация алгоритмов управления УКПН подтвердила проведенные теоретические разработки и представляет собой значительную инженерную ценность при их внедрении в реальные электротехнические комплексы. Червоненко А. П. сформулированы общие практические рекомендации о выборе в зависимости от категории надежности электроснабжения, состава и мощности нагрузки устройств типа АВР, БАВР и УКПН. Некоторые из рекомендаций (п.3, п.9) требуют своего пояснения и уточнения.

*На основании анализа диссертационной работы можно сделать вывод, что тема диссертации соответствует п.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», п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления» и п.4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях» паспорта специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы. Автореферат в целом достаточно полно отражает выполненные исследования и полученные результаты. В диссертации подробно раскрыты положения, вынесенные на защиту, предложенные решения новы и хорошо аргументированы. Структура диссертации обладает внутренним единством, текст написан грамотным языком и качественно оформлен.*

### **Научная новизна диссертационной работы**

В представленной диссертационной работе получен ряд результатов, обладающих научной новизной. Наиболее значимыми из них являются следующие:

1. Предложен и реализован быстродействующий автоматический ввод резерва в составе комплекса защиты от провалов напряжения, который выполнен по данным опыта выбега асинхронного двигателя и отличается тем, что позволяет осуществлять переключение нагрузки с аварийной сети на резервную при частичном или полном отсутствии информации о состоянии ЭДС выбегающей нагрузки.

2. Разработана имитационная модель электротехнического комплекса с учетом характерных режимов работы потребителей, как: АВР; пуск и выбег асинхронного двигателя; БАВР с учетом параметров выбега двигателя; БАВР в совокупности с предложенным накопителем энергии. На основании модели определены условия синфазного включения источников питания, выбраны уставки снижения напряжения на аварийном вводе и определен угол рассогласования фаз источников питания.

3. Предложен алгоритм управления устройством компенсации провалов напряжения с накопителем электрической энергии, который обеспечивает синхронизацию источников, реализует функцию безударного переключения нагрузки и отличается отсутствием фазового и амплитудного рассогласований между источниками напряжений в момент перевода нагрузки.

**Степень обоснованности и достоверности** научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, определяется корректным использованием методов математического моделирования процессов, совпадением расчетных и экспериментальных результатов, подтвержденных в ходе моделирования научно-исследовательских и хозяйственно-договорных работ.

### **Практическая ценность работы:**

1. Результаты работы использованы при выполнении НИР «Разработка и исследование цифровых моделей для анализа эффективности существующих и вновь проектируемых технических решений по компенсации провалов напряжения» с ООО «Системы накопления энергии». Автором диссертационной работы был получен акт о внедрении результатов исследования от ООО «Системы Постоянного Тока».

2. Даны практические рекомендации по выбору УКПН в зависимости от: категории электроснабжения потребителя, требований к быстродействию по замещению аварийной сети, времени реакции на аварийную ситуацию и требуемых условий по определению аварии, вхождения или невхождения в

состав нагрузки частотно-регулируемого электропривода, чувствительности потребителя к перебоям в системе электроснабжения, режимов работы потребителя, многоступенчатости характера технологического процесса, типа возможных аварийных ситуаций, требуемых темпов восстановления технологических параметров.

**Соответствие положений, вынесенных на защиту, материалам диссертации.** На основании анализа содержания диссертационной работы, ее научной новизны и практической ценности можно заключить, что вынесенные на защиту положения полностью соответствуют содержанию диссертации, научно обоснованы и вносят существенный вклад в решение задач обеспечения бесперебойной работы электротехнических комплексов.

#### **Публикации и апробация положений диссертационной работы**

По теме диссертации автором опубликовано десять печатных работ, из которых три представлены статьями в рекомендованных ВАК изданиях, 1 работа по перечню *Scopus*, *Web of Science*, а 5 – тезисами докладов к всероссийским и международным конференциям. Апробация основных положений диссертационной работы проходила на всероссийских и отраслевых конференциях. Автором получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### **Замечания по диссертации и автореферату**

1. В работе рассмотрена уставка запуска БАВР по снижению 10% от номинального напряжения и сказано, что уставка регулируется в зависимости от типа объекта и отправляет сигнал переключения на резервную сеть. Каким образом Вы предлагаете выбирать этот параметр, не будет ли при этом излишних переключений и поспешных срабатываний?

2. На рисунке 2.7 приведены результаты работы БАВР с полным временем 0,4 секунды. Известны комплексы БАВР, которые работают за 17-25мс. Как изменились бы рекомендации результатов диссертации в этом случае.

3. В первой главе в качестве накопителей энергии в вопросах построения систем компенсации провалов напряжения предложено использовать суперконденсаторы и сказано, «провал напряжения глубиной в 10% от номинала и продолжительностью 0,1 секунд может принести среднему промышленному предприятию убытки в несколько миллионов рублей», что требуется пояснить, т.к. ранее со ссылкой на ГОСТ 32144-2013 говорится о провале напряжения после его снижения до уровня, ниже 0,9Uном.

4. В диссертации приведены сведения по устройству АВР ШИПТ. На рисунках 1.6 – 1.8 представлены электрические схемы, взятые из интернет источников или иностранных каталогов данного производителя. Следовало бы привести эти схемы к привычному для российского инженера виду.

5. В рассматриваемых в первой главе схемах электроснабжения потребителей отсутствует широко используемая последнее время схема с двумя вводами на секцию распределительного устройства напряжением 6, 10кВ. На рисунке 1.7 рассмотрена схема АВР с секционным выключателем и сказано, что отличительная особенность данной схемы – равнозначность обоих вводов. А если неравнозначны два ввода на одну секцию, то, какие алгоритмы и что Вы предлагаете для компенсации провалов напряжения?

6. В диссертации имеется ряд опечаток: на стр. 25 приведено старое обозначение выключателя Тавриды Электрик Shell Q, которое уже с 2018 года заменено на ISM15\_Shell\_FT2, «КПД аккумуляторов может достигать 90%» стр. 27), хотя многие авторы указывают на 94%; вывод на стр. 28, что «наиболее совершенным вариантом нивелирования провалов напряжения является применение суперконденсаторов».

7. Список используемой литературы мал, а ссылки на ряд зарубежных источников ([12-15]) не отражает полноту рассмотрения Западными исследователями влияния провалов напряжения на работу особых групп потребителей, оценки экономических последствий от провалов напряжения, схемных решений проблем провалов напряжения.

#### **Общая оценка работы**

Изучение представленных соискателем материалов позволяет оппоненту сделать следующие выводы. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы. Диссертационная работа вносит определенный вклад в область знаний, охватываемых данной научной специальностью. По объектам исследования выполненная работа соответствует формуле специальности: «В рамках научной специальности объектами изучения являются электротехнические комплексы и системы генерирования электрической энергии, электроснабжения, электрооборудования ...». Область исследований соответствует пункту 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», пункту 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления» и пункту 4 паспорта специальности: «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях».

Диссертационная работа обладает научной новизной и возможностью практического применения результатов. Основные положения диссертационной

работы своевременно опубликованы автором, в том числе, в ведущих рецензируемых изданиях. Автореферат диссертации в достаточной мере раскрывает основное содержание работы. Диссертация и автореферат изложены понятным техническим языком и надлежащим образом оформлены.

### Заключение

На основании анализа диссертации и автореферата оппонент делает заключение, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, действующим «Положением о присуждении ученых степеней». А в соответствии с пунктом 9 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. работа может быть квалифицирована как решение задачи, имеющей существенное значение для развития методической базы повышения надежности и эффективности промышленных электротехнических систем с устройствами компенсации провалов напряжения. Автор диссертационной работы **Червоненко Андрей Павлович** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
управляющий проектами  
ООО «НПК Промир»

Валерий Михайлович Пупин  
21.11.2023

Подпись заверяю, директор  
ООО «НПК Промир», к.т.н.

Анатольевич Жуков

Общество с ограниченной ответственностью  
Почтовый адрес: 111020, г. Москва, ул.  
Официальный сайт: <http://www.npkpromir.com>  
E-mail: [vpupin@npkpromir.com](mailto:vpupin@npkpromir.com)  
Тел.: +7(495) 979-89-44

офис 405  
com

Отзыв получен 01.12.2023 Лиз / Давид МА

С отзывом ознакомлен 01.12.2023 [подпись] / Червоненко А.М.