

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Федотова Александра Ивановича

на диссертационную работу **Червоненко Андрея Павловича** «Алгоритмы управления промышленными устройствами компенсации провалов напряжения с накопителями энергии», выполненную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлены диссертационная работа и автореферат. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 73 наименований, четырех приложений и изложена на 152 страницах машинописного текста.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тема диссертации связана с развитием мощных электрохимических накопителей энергии (НЭ) на основе суперконденсаторов (СК) и их использованием в системах промышленного электроснабжения как структурный элемент, дополняющий автоматику быстрого аварийного включения резерва (БАВР). Избранное направление научного исследования ориентировано на решение проблемы поддержания уровня напряжения, достаточного для устойчивой работы двигательной нагрузки после срабатывания БАВР. Тем самым оно выступает как альтернатива применению динамических компенсаторов искажений напряжения (ДКИН), обеспечивающих надлежащее напряжение на нагрузке аварийной секции шин.

Системы БАВР не в полной мере решают задачу качественного электроснабжения, т.к. в их функцию не входит поддержание необходимого уровня напряжения после ударного приема нагрузки с отключаемой секции. Использование форсировки возбуждения синхронных двигателей для ограничения глубины провала напряжения является одним из способов борьбы с кратковременными нарушениями электроснабжения (КНЭ), но ограничивающим фактором является инерционность электромагнитных переходных процессов. Применение ДКИН сдерживается их высокой стоимостью и зависимостью напряжения в цепи управления от характеристик источника. Использование аккумуляторных батарей делает его нечувствительным к КНЭ, но дополнительно усложняет устройство. Появление мощных электрохимических НЭ на основе суперконденсаторов открывает новые возможности по быстрой стабилизирующей стабилизации напряжения на кратковременных интервалах времени.

Одной из основ для экономического роста и улучшения промышленных уровней производительности предприятий является качество электроэнергии. Современная промышленность предъявляет повышенные требования к качеству электроэнергии. В промышленной экономике вполне допустимым считалось прерывание электроснабжения не более 2–3 раз в год. В новой цифровой экономике уже не приемлемы возмущения в виде КНЭ, проявляющихся в провалах напряжения продолжительностью до 0,1 – 0,2 с без последующего перерыва электроснабжения. Они приводят к срывам технологических процессов, сопровождающихся тяжелым финансовым последствиями. В этой связи **актуальность** направления исследований по поддержанию напряжения на нагрузке в режиме БАВР не вызывает сомнений.

2. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ,

В первой главе диссертации выполнен обзор отечественных и зарубежных публикаций по избранной теме исследования. Описаны различные методы и устройства по ограничению глубины провалов напряжения в системах промышленного электроснабжения. Показано, что в этих целях можно использовать электрохимические накопители энергии на основе СК. Выполненный соискателем анализ систем переключения нагрузки на резервный источник питания квалифицированный и достаточный для выделения круга задач, подлежащих дальнейшим исследованиям.

Во второй главе диссертации составлена имитационная модель объекта исследования и выполнен синтез системы управления БАВР. На её основе проведены виртуальные эксперименты переключения нагрузки на резервный источник и обоснованы алгоритмы управления процессом переключения. Предложено использовать самообучающуюся систему, тестовые испытания которой подтвердили её эффективность.

В третьей главе приведены условия выбора параметров НЭ и осуществлен синтез системы управления комплексом ограничения провалов напряжения. Рассмотрен вариант резервирования с предварительным переключением нагрузки на НЭ и уже последующее её переключение на резервирующую секцию шин подстанции по условию критического снижения напряжения. Выполнены поверочные расчеты на имитационных моделях.

В четвертой главе рассмотрена практическая реализации электротехнического комплекса, включающего в себя двигательную нагрузку, накопитель электроэнергии на основе СК, БАВР и разработанную систему управления комплексом, обеспечивающую устойчивую работу нагрузки при КНЭ.

В приложениях помещены справочные и расчетные материалы, дополняющие основное исследование.

Научные положения, а именно: методика выбора НЭ, алгоритм переключения нагрузки на резервную сеть с использованием БАВР, структура и алгоритмы системы управления НЭ в составе БАВР, действующая модель электротехнического комплекса «нагрузка - НЭ - БАВР», – как показал анализ материалов диссертации, доказательно обоснованы в соответствующих главах представленного научного исследования.

В выводах диссертационной работы сформулированы все её основные результаты согласно заявленным ранее положениям, выносимым на защиту.

В целом рецензируемая диссертация содержит вполне достаточные обоснования научных положений, выводов и рекомендаций.

3. ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Используемые в диссертации математические модели отдельных элементов электротехнических комплексов хорошо известны и апробированы. Имитационное моделирование проводилось с использованием сертифицированных программных продуктов и подтвердило теоретические выводы. Практическая реализация электротехнического комплекса доказала работоспособность предложенных алгоритмов управления системой НЭ в составе БАВР и научную состоятельность диссертационного исследования. Для верификации полученных результатов использовались опубликованные исследования других авторов. Все основные научные положения диссертации были опубликованы в отечественных журналах, доклады вались на всероссийских и международных научных конференциях.

4. НАУЧНАЯ НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные научные результаты диссертации:

1. Разработанные алгоритмы управления БАВР обеспечивают при КНЭ переключение нагрузки на НЭ без полной или части информации о напряжении на аварийной секции шин посредством предварительного машинного обучения системы управления.

2. Новым результатом исследования является способ переключения аварийной нагрузки, использующий промежуточное её переключение на электрохимический накопитель электроэнергии, выполненный на суперконденсаторах. При этом в режимах коммутации обеспечивается безударное переключение асинхронных двигателей.

3. Синтезированная система управления электротехническим комплексом «нагрузка - НЭ – БАВР» учитывает особенности функционирования каждого элемента комплекса и обеспечивает согласованную работу локальных систем автоматического регулирования и коммутации. Научная состоятельность алгоритмов управления подтверждена на модельном стенде.

5. ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Название диссертации не вполне точно отражает её содержание: суперконденсаторы вступают в работу уже после переключения нагрузки на НЭ вследствие возникновения в сети КНЭ. На первопричину работы БАВР - провал напряжения на рабочей секции - они не влияют, тогда как ДКИН борются непосредственно с провалом напряжения на нагрузке.

2. На рис. 1.1 диссертации приведены крайне устаревшие схемы внешнего электропитания с отделителями и короткозамыкателями. По крайней мере, на напряжении 220 кВ Федеральной сетевой компанией они давно заменены на выключатели, а в Европейской части страны на 35 – 110 кВ остались в виде редких исключений, подлежащих реконструкции. Описание хорошо известных схем на рис. 1.2 – 1.4 не несет полезной информации для сформулированных целей и задач диссертации. Описание выключателей ВМГ-133, стр. 38 и 39, излишне, т.к. они не подходят для БАВР.

3. В тяговом электроприводе маневровых электропоездов использование СК для повышения пускового момента перспективно в силу их частого срабатывания. На стр. 73 как достоинство СК приведено, что они позволяют обеспечить «часто сменяющиеся периоды разряда/заряда». В связи с редкими событиями КНЭ появляется вопрос: насколько весомо это достоинство? И по каким критериям в результате отдано предпочтение именно СК перед аккумуляторными НЭ? Аккумуляторные НЭ обладают возможностями форсировки тока разряда кратностью 3 – 5 от номинального. Суперконденсаторы по стоимости существенно дороже аккумуляторных НЭ на основе литий-ионных батарей.

4. На рис. 2.1 приведена обобщенная схема объекта исследования с двумя накопителями энергии. В связи с используемыми сверхбыстродействующими выключателями Shell Q в пределах 22 мс, было бы логичным ограничиться одним накопителем, избирательно подключаемым к резервирующей секции в случае КНЭ. При наличии двух НЭ в диссертации упущена возможность повышения остаточного напряжения на аварийной секции до её отключения за счет форсированного разряда НЭ данной секции.

5. На рис. 3.1 приведена линейная зависимость от времени напряжения заряда СК, обеспечивающая постоянство предельно допустимого тока заряда. Процесс заряда занимает примерно 28 секунд. По материалам диссертации не ясно, почему именно с нулевого уровня напряжения начинается заряд СК, т.к. в процессе БАВР накопитель никак не может полностью разрядиться. Аналогично не ясно по рисунку 3.2 – какой режим рассматривался на

имитационной модели, т.к. напряжения на СК в конце разряда снизилось примерно до 20% от начального значения, что уже предполагает не успешное АВР.

6. Не вполне корректно использование величины установленной мощности нагрузки для выбора параметров СК по допустимому току, стр. 83. В режиме самозапуска АД после их переключения на резервный источник ток увеличивается вследствие электромеханического переходного процесса. Коэффициент запаса по току может быть предварительно рассчитан исходя из моделирования режима самозапуска для конкретной нагрузки.

7. Не корректно говорить о «состоянии ЭДС выбегающей нагрузки». При наличии хотя бы еще одной нагрузки на отключенной общей секции шин совместно с одним АД, измеряется на шинах уже напряжение, но не ЭДС. При необходимости ЭДС группы двигателей могут быть рассчитаны в динамическом режиме на соответствующих математических моделях.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку рецензируемой работы. Они преимущественно направлены на дальнейшее развитие исследований и их совершенствование в избранном научном направлении. Необходимо отдельно отметить большую работу соискателя, выполненную для практической реализации научных идей в виде модельного стенда.

5. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автореферат диссертации отражает её содержание и дает достаточно полное представление о содержании исследования и новизне полученных результатов. Публикации по диссертации в рецензируемых научных изданиях включают все её основные научные результаты. Диссертация Червоненко А.П. выполнена на актуальную тему на высоком научном уровне, имеет практическую направленность. В ней содержится решение научной задачи повышения эффективности электроснабжения электротехнических комплексов, включающих электрохимические накопители энергии, каковая имеет существенное значение для развития страны посредством сохранения непрерывности технологических процессов в промышленности под действием внешних возмущений в виде КНЭ. Диссертационная работа соответствует всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 11.09.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также паспорту защищаемой специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

Соискатель Червоненко А.П. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», доктор технических наук

420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ФГБОУ ВО «КГЭУ»
Сайт: <https://kgeu.ru>; E-mail: fed.ai@mail.ru; тел. 89600301815.

А.И. Федотов

руководитель
22.11.2023
И.И. Федотов

С отзвтом ознакомлен 30.11.2023

И.И. Федотов / Червоненко А.П.