

ОТЗЫВ

официального оппонента Смоленцева Николая Ивановича на диссертацию Пранкевича Глеба Александровича на тему: «РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ КАК ЭЛЕМЕНТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы

Актуальность темы диссертационной работы. За последнее десятилетие технологии накопления энергии в электроэнергетике получили значительное развитие. Существенно снизилась стоимость компонентов систем накопления энергии (СНЭ), что повысило рентабельность проектов с применением СНЭ. Особенно активизировался интерес к накопителям энергии с появлением быстродействующих СНЭ с временем отклика, менее периода промышленной частоты.

Современные быстродействующие СНЭ являются принципиально новыми для энергосистем РФ электротехническими устройствами, предназначенными для организации двунаправленного управления энергетическими потоками в составе энергосистем с целью оптимизации и повышения энергосбережения и энергоэффективности.

Накапливая энергию при её избытке в энергосистеме, сохраняя в течение достаточно длительного времени с приемлемым уровнем потерь и возвращая в нужный момент в энергосистему, СНЭ способна, практически безынерционно управлять балансом активной мощности по любому заданному алгоритму, в соответствии с решаемой задачей. Кроме этого СНЭ может выполнять функции устройства компенсации реактивной мощности, активного фильтра высших гармоник и средства компенсации несимметрии напряжения в трёхфазных сетях. Учитывая многофункциональность и высокое быстродействие систем накопления, можно предположить, что при широком внедрении в электроэнергетику и при условии достижения значений мощности и энергоёмкости систем накопления, актуальных для ЕЭС, многие задачи регулирования и управления, в том числе противоаварийного, могут решаться с помощью СНЭ. Значение СНЭ (трансформатора мощности) в энергетике можно сравнить со значением трансформаторов напряжения.

Возможны различные способы применения СНЭ в объединённых, изолированных, распределённых энергосистемах. В силу новизны технологий СНЭ их освоение и внедрение в практику российской электроэнергетики начинается с относительно малых мощностей и энергоёмкостей. В настоящее время в РФ реализуется ряд проектов со СНЭ в автономных энергосистемах, которые характеризуются высокой экономической и технической эффективностью.

Положительный опыт реализации вышеупомянутых проектов позволит приступить к более масштабным проектам по применению СНЭ. Оценка их эффективности и целесообразности применения в ЕЭС и в изолированных энергосистемах требует детальной проработки в каждом рассматриваемом случае при условии надёжности и экономической доступности технологий.

СНЭ это многофункциональное электротехническое устройство и его внедрение в состав энергосистемы придаёт ей новые качества и характеристики, влияет на её схемно-режимные параметры, способы и методы управления. Новизна и многофункциональность СНЭ обуславливают необходимость разработки математических моделей, алгоритмов управления и методик выбора параметров для решения разнообразных задач. Для исследования работы СНЭ в составе энергосистемы, для расчётов нормальных, переходных и аварийных режимов, электромагнитных и электромеханических переходных процессов необходимы соответствующие математические модели. Имеющиеся в настоящее время математические модели СНЭ в составе промышленных вычислительных комплексов далеко не в полной мере удовлетворяют потребностям специалистов.

Научная новизна работы:

1. Предложен новый способ моделирования СНЭ, позволяющий рассчитывать переходные электромеханические процессы с учётом динамики энергообмена для различных типов подсистем накопления энергии.
2. Разработана математическая модель СНЭ совместимая с основными промышленными вычислительными комплексами, для расчёта переходных электромеханических процессов в энергосистемах с накопителями энергии.
3. Разработана методика выбора основных параметров СНЭ на основе анализа амплитудно-частотных характеристик графиков нагрузки для задач демпфирования колебаний мощности нагрузки заданной частоты.
4. Разработана методика выбора основных параметров СНЭ на основе анализа результатов расчета переходного процесса с заданным алгоритмом управления.

Практическая значимость работы

1. Разработан способ построения математической модели СНЭ и получен патент на изобретение РФ RU 2736701 C1.
2. Модель СНЭ реализована в ППК Matlab Simulink и DigSilent PowerFactory, позволяет проводить полноценные научные и научно-производственные исследования, расчёты режимов и переходных процессов в энергосистемах со СНЭ.
3. Наиболее актуально применение математической модели для разработки алгоритмов управления СНЭ и расчета её основных параметров в составе энергосистемы.

4. Внедрение результатов диссертационного исследования подтверждено двумя актами внедрения

Теоретическая значимость работы. Разработана математическая модель СНЭ как элемента электроэнергетической системы, позволяющая рассчитывать и исследовать режимы и переходные электромеханические процессы.

Разработанная методика расчёта основных параметров накопителя энергии, основанная на результатах анализа частотных спектров нагрузочных характеристик, даёт эффективный и удобный для применения инструмент при проектировании СНЭ в составе энергосистемы. Методика применима, прежде всего, для тех областей использования СНЭ, в которых технологически необходим непрерывный (длительный) знакопеременный энергообмен между энергосистемой и накопителем.

Разработанная методика на основе анализа результатов переходного процесса при заданном алгоритме управления, позволяет выполнить выбор основных параметров СНЭ по результатам расчёта переходного процесса при заданном алгоритме управления мощностью накопителя с учетом изменения его уровня заряда в процессе энергообмена с системой.

Положения, выносимые на защиту

1. Способ моделирования, учитывающий взаимосвязь уровня заряда и располагаемой мощности, обеспечивает единство расчета переходных процессов в энергосистеме и в СНЭ.

2. Методика выбора основных параметров СНЭ на основе мониторинга режимных параметров электроэнергетического объекта и анализа АЧХ его графика нагрузки позволяет оптимизировать мощность и энергоёмкость накопителя при решении задач подавления нежелательных колебаний мощности при резкопеременном характере нагрузки.

3. Методика выбора основных параметров СНЭ по результатам расчёта переходного процесса по разработанной модели даёт минимально необходимые значения мощности и энергоёмкости для реализации заданного алгоритма управления накопителем энергии.

Достоверность результатов работы подтверждена натурными экспериментами со СНЭ в составе электроэнергетической системы и расчётами с использованием промышленных ПВК.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), городской научно-практической конференции «Aspire to Science» в 2016 году в г. Новосибирске, на международной научно-технической

конференции «Электроэнергетика глазами молодежи – 2017» в 2017 году в г. Самара, всероссийской научно-технической конференции «Электропитание-2018» в 2018 году в г. Новосибирске, четырнадцатой международной научно-технической конференцией "Актуальные проблемы электронного приборостроения" в 2018 году в г. Новосибирске.

Публикации по теме исследования. По теме диссертации опубликовано 28 печатных научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК РФ), 9 публикаций, индексируемых в наукометрических базах данных Scopus и Web of Science, 15 публикаций в сборниках материалов и трудов научных конференций, форумов всероссийского и международного уровня. Получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, списка сокращений и условных обозначений, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 62 наименования, и двух приложений. Общий объем работы составляет 159 страниц, включает 60 рисунков и 10 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, внедрение и апробация полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения.

Первая глава посвящена обзору мирового и отечественного опыта применения СНЭ в различных областях электроэнергетики. Современные технологии накопления энергии для ряда актуальных областей применения уже сегодня обеспечивают рентабельность проектов.

Вторая глава посвящена математическому моделированию СНЭ в составе электроэнергетической системы.

Для оценки целесообразности разработки модели СНЭ (в составе энергосистем) для расчета электромеханических переходных процессов и установившихся режимов выполнен анализ применимости современных ПВК (PowerFactory, MATLAB – Simulink, ETAP, EUROSTAG, RUSTab, PSCAD) для подобных расчётов. Результаты анализа возможностей ПВК, показали, что они либо не имеют в своей инструментарии готовые к использованию математические модели СНЭ, либо предлагаемые ими модели не учитывают в достаточной мере характеристики основных элементов СНЭ и особенности их функционирования в составе энергосистемы.

С учетом выявленных недостатков существующих моделей СНЭ и с учётом особенностей расчета электромеханических переходных процессов сформулированы следующие требования к разрабатываемой математической модели СНЭ.

Третья глава посвящена верификации математической модели СНЭ. Верификации проводилась сопоставлением результатов натурных опытов, выполненных на экспериментальной автономной энергосистеме в составе: ДГУ мощностью 125 кВА, ступенчато коммутируемая активно-индуктивная нагрузка и СНЭ мощностью 100 кВА и энергоёмкостью 153 кВт·час, с результатами расчётов на математической модели. Математическая модель СНЭ для расчётов электромеханических переходных процессов показала достаточное для инженерных целей качественное и количественное совпадение результатов эксперимента и расчётов по основным характерным режимным параметрам.

Четвертая глава посвящен анализу применения теории мгновенной мощности (ТММ) и быстрого преобразования Фурье (БФП) для обработки результатов мониторинга режимных параметров энергообъекта для последующего расчета параметров СНЭ по предложенным в работе методикам их расчета.

Пятая глава посвящен методикам выбора основных параметров СНЭ. При разработке методики расчёта параметров СНЭ предварительно выполнен анализ методик, предлагаемых зарубежными и отечественными авторами. Их анализ показал, что:

1. В литературе отсутствуют методики расчета параметров для группы задач в которых СНЭ работает в условиях резкопеременной и стохастической нагрузки.
2. Отсутствуют методики расчета параметров, основывающиеся на расчётах электромеханических переходных процессов в энергосистемах со СНЭ при заданном алгоритме её работы. Разработанные в диссертации методики восполняют этот пробел. Предлагаются две новые методики.

Шестая глава посвящена примерам применения разработок автора в практической деятельности производственного предприятия ООО «СНЭ». Автор принимал непосредственное участие в проведении испытаний промышленного образца СНЭ-10-1200-400 мощностью 1200 кВА и энергоёмкостью 400 кВт·час, в части разработки программ и методик испытаний. При проведении испытаний были использованы разработки автора по моделированию СНЭ и методик расчета её параметров.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Предложен способ моделирования и разработана математическая модель СНЭ, позволяющая рассчитывать переходные электромеханические процессы с учётом динамики энергообмена для различных типов подсистем накопления энергии. Математическая

модель реализована в ППК Matlab Simulink и DigSilent PowerFactory и верифицирована путём сравнения результатов расчётов и физических экспериментов.

Наиболее актуально применение математической модели для разработки алгоритмов управления СНЭ и при расчете её основных параметров как элемента энергосистемы.

Разработана методика выбора основных параметров СНЭ на основе анализа амплитудно-частотных характеристик графиков нагрузки для задач демпфирования колебаний мощности нагрузки заданной частоты .

Разработана методика выбора основных параметров СНЭ на основе анализа результатов расчета переходного процесса с заданным алгоритмом управления.

Проведены натурные эксперименты на промышленном образце СНЭ в динамических режимах, показавшие её быстродействие и высокую эффективность для демпфирования колебаний мощности при резкопеременном характере нагрузки.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается проведенным анализом большого числа отечественных и зарубежных публикаций по теме исследования, применением методов математического и компьютерного моделирования с использованием современного программного обеспечения, численными расчетами, результаты которых согласуются с измерениями, полученные в ходе экспериментальных исследований.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе автор указывает, что СНЭ многофункциональное устройство и внедрение СНЭ в энергетику придаст ей новые возможности и перспективы. Возможно, этот вопрос следовало раскрыть более широко, например, указать роль СНЭ в развитие цифровой энергетики.

2. Во второй главе рассмотрена математическая модель СНЭ. В блоке параметров СНЭ целесообразно вести параметр «пиковая мощность СНЭ», что расширяет применимость модели к более широкому кругу решаемых СНЭ задач в энергетике.

3. СНЭ генерирует в систему высшие гармоники тока и напряжения. Эта особенность СНЭ никак не учитывается и не оговаривается автором при разработке математической модели (глава 3).

4. В главе 5 не указано, каким образом производить выбор параметров СНЭ при выполнении им нескольких функций одновременно?

5. В диссертации (глава 4) не приводятся чёткие рекомендации по организации мониторинга энергообъектов для выбора параметров СНЭ. Желательно было бы их сформулировать, учитывая практический опыт автора.

6. Автором работы для частотного анализа графиков нагрузки использован метод быстрого преобразования Фурье (глава 4). В тексте диссертации отсутствует аргументированное обоснование выбора этого метода. Отсутствует сравнительный анализ аналогичных методов, например, Вейвлет-преобразование (Wavelet transform).

Приведённые замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, при этом замечания следует рассматривать как рекомендации автору в дальнейшей работе.

Заключение

Диссертационная работа Пранкевича Глеба Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены результаты исследований, имеющие существенное значение для развития систем накопления электрической энергии, создания перспективных энергетических систем нового поколения.

Работа отвечает требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней утвержденное Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. N 842 (ред. от 11.09.2021 г.), а её автор Пранкевич Глеб Александрович заслуживает присуждение учёной степени кандидата технических наук по специальности по специальности 05.14.02 — Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент:
кандидат технических наук, доцент,
помощник ректора по научной работе,
доцент кафедры Технической электроники,
СибГУТИ

Николай Иванович Смоленцев

« 9 » 03 2022 г.

Подпись Смоленцева Н.И. заверяю:
Начальник отдела кадров СибГУТИ.

_____ 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО «СибГУТИ»). Адрес: 630102, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86. Контактный телефон +7 (383) 269-82-28, факс +7 (383) 269-82-03. Адрес электронной почты: smolenzev@sibguti.ru.

Озвон получен 29.03.2022 г.
с отзывом ознакомлен 29.03.2022 г.

Смоленцев Н.И.
Пранкевич Г.А.