

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17 октября 2024 протокол № 2

О присуждении Севостьянову Никите Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модульная система электроснабжения космического аппарата с распределённым управлением» по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 07 июня 2024 г., (протокол № 5) диссертационным советом 24.2.347.07, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №1106/нк от 23.05.2023 г.

Соискатель Севостьянов Никита Алексеевич 13 марта 1997 года рождения.

В 2020 г. соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, с присвоением квалификации магистр по направлению 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника». В 2024 году соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, нормативный период обучения с 01.09.2020 г. по 31.08.2024 г., присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь» по направлению 13.06.01 - «Электро- и теплотехника», выдан диплом об окончании аспирантуры. Работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, младшим научным сотрудником института силовой электроники и по совместительству ассистентом кафедры общей физики.

Диссертация выполнена на кафедре электроники и электротехники в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Харитонов Сергей Александрович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра электроники и электротехники, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Краснобаев Юрий Вадимович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», кафедра «Системы автоматизации, автоматизированное управление и проектирование», профессор кафедры, г. Красноярск;

Осипов Александр Владимирович, доктор технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра Промышленной электроники, доцент кафедры, г. Томск;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук» (ИПУ РАН), г. Москва **в своем положительном заключении**, подписанном Исаковым Алексеем Борисовичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником, и. о. заведующего лабораторией № 82 «Моделирования и управления в больших системах» и утвержденном Барабановым Иваном Николаевичем, кандидатом физико-математических наук, заместителем директора по научной работе ИПУ РАН **указала, что** диссертация Севостьянова Н. А. является **завершенной научно-квалификационной работой**, в которой решена научная задача улучшения динамических показателей качества стабилизации напряжения общей шины модульной системы электроснабжения космического аппарата с иерархической распределённой системой управления путём её структурной и параметрической модификации. Диссертация отвечает всем критериям, установленным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Севостьянов Никита Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 3 работы. Автором получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных автором работах. Авторский вклад в опубликованных работах составляет не менее 70%, общий объем – 13,63 п.л.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

Публикации в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ:

1. Севостьянов, Н. А. Импедансный подход к синтезу системы стабилизации преобразователей постоянного напряжения в составе энергопреобразующей аппаратуры космических аппаратов / Н. А. Севостьянов, Р. Л. Горбунов // *Электропитание*. — 2019. — № 3. — С. 15-27.

2. Севостьянов, Н. А. Система управления силовыми преобразователями автономного электроагрегата постоянного тока / Н. А. Севостьянов, Д. А. Штейн, Д. А. Курочкин // *Электропитание*. — 2021. — Т. 4. С. 4-16.

3. Севостьянов, Н. А. Иерархическое распределённое управление модульной системой электроснабжения космического аппарата / Н. А. Севостьянов, С. А. Харитонов // *Электротехника*. — 2024. — Т. 2. — С. 48-59.

Публикации в журналах, индексируемых наукометрическими системами «Web of Science» и «Scopus»:

4. Sevostyanov, N. A. Control Strategy to Mitigate Voltage Ripples in Droop-Controlled DC Microgrids / N. A. Sevostyanov, R. L. Gorbunov // *IEEE Transactions on Power Electronics*. — 2023. — Vol. 38, no. 12. — P. 15377-15389.

5. Sevostyanov, N. A. Hierarchical Distributed Control of Modular Spacecraft Electrical Power System / N. A. Sevostyanov, S. A. Kharitonov // *Russian Electrical Engineering*. — 2024. — Vol. 95. — P. 141-151.

Публикации в прочих изданиях (в том числе в материалах международных и всероссийских конференций):

6. Sevostyanov, N. A. An Improved Droop-Control Strategy to Provide Flat Output Impedance of Power Converters in DC Microgrids / N. A. Sevostyanov, R. L. Gorbunov // *Proceedings – International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*. – 2021. – P. 1-8.

7. Sevostyanov, N. A. Resonant Controllers Design for Frequency-Selective Impedance Controlled DC Microgrids / N. A. Sevostyanov, R. L. Gorbunov // *Proceedings – International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)*. – 2021. – P. 348-353.

8. Sevostyanov, N. A. Current Sharing in Decentralized DC Microgrids with Frequency-Selective Impedance Control / N. A. Sevostyanov, R. L. Gorbunov // Proceedings – Energy Conversion Congress and Exposition - Asia (ECCE Asia). – 2021. – P. 189-193.
9. Gorbunov, R. L. Frequency-Selective Impedance Control for DC Microgrids / R. L. Gorbunov, N. A. Sevostyanov, D. A. Shtein // Proceedings – International Ural Conference on Electrical Power Engineerings (UralCon). – 2020. – P. 330-338.
10. Sevostyanov, N. A. Predictive Digital Current Programmed Control with Load Current Compensation for DC-DC Converters / N. A. Sevostyanov, R. L. Gorbunov // Proceedings – International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – 2020. – P. 389-394.
11. Sevostyanov, N. A. Experimental Verification of the Impedance-Based Approach for the Feedback Loop Design of the DC-DC Converter / N. A. Sevostyanov, R. L. Gorbunov // Proceedings – International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – 2019. – P. 509-513.
12. Step-by-Step Design of the Digital Closed Loop System of the Boost Voltage Converter / N. A. Sevostyanov [et al.] // Proceedings – International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – 2018. – P. 6403-6408.
13. Design Rules of the DC-DC Voltage Converter with the Two-Loop Feedback System / R. L. Gorbunov [et al.] // Proceedings – International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – 2018. – P. 6403-6408.
14. Севостьянов, Н. А. Двукратное регулирование напряжения в системе электроснабжения космического аппарата с цифровой системой управления / Н. А. Севостьянов, Р. Л. Горбунов // Сборник трудов конференции – Решетнёвские чтения. – 2022. – С. 364-366.
15. Севостьянов, Н. А. Синтез системы управления параллельными преобразователями постоянного напряжения с монотонными переходными

процессами / Н. А. Севостьянов, Р. Л. Горбунов, И. В. Александров // Сборник трудов конференции – Электронные средства и системы управления. – 2021. – С. 1-1.

На диссертацию и автореферат поступили 5 отзывов, все положительные, в которых отмечена актуальность работы и новизна полученных результатов:

1. Отзыв кандидата технических наук, начальника группы разработчиков ЗАО «Эрасиб» **Вдовина В.В.** – замечания относятся к отсутствию детального описания распределённого наблюдателя напряжения общей шины и необоснованному использованию узкоспециализированных терминов.

2. Отзыв кандидата технических наук, главного технолога ООО «АЕДОН» **Симкина А.В.** – замечания связаны с тем, что в работе не рассмотрены процессы, возникающие при переходе между режимами работы системы электроснабжения от аккумуляторных и фотоэлектрических батарей, а также не учтена особенность нелинейной вольт-амперной характеристики фотоэлектрических батарей.

3. Отзыв доктора технических наук, профессора, профессора инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» **Гарганеева А.Г.** – замечания связаны с тем, что в автореферате не проведена проверка работоспособности предлагаемых алгоритмов управления в системе с числом силовых модулей больше двух.

4. Отзыв кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника научно-исследовательского отдела автономной энергетики АО «НПЦ «Полюс» **Нагорного В.О.** – замечания связаны с тем, что в работе не был учтён опыт специалистов АО «НПЦ «Полюс» в проектировании систем электроснабжения космических аппаратов, а в тексте использовано много англицизмов.

5. Отзыв кандидата технических наук, доцента кафедры Электротехники и авиационного электрооборудования Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» **Савелова А.А.** и доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой Электротехники и авиационного электрооборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» **Халютина С.П.** – замечания связаны с тем, что в работе использована некорректная терминология и не сделаны акценты на системе распределения электроэнергии между бортовыми системами космического аппарата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью, наличием достижений в области устройств силовой электроники и систем электроснабжения на их основе, высокой компетентностью в сфере, связанной с исследованиями систем преобразования электрической энергии, наличием публикаций в указанной области, а также возможностью дать научную оценку диссертационной работе. **Краснобаев Юрий Вадимович** – доктор технических наук, профессор, область научных интересов связана с исследованием энергоэффективных систем электроснабжения космических аппаратов, разработкой новых топологий схем силовых полупроводниковых преобразователей, применяемых в системах электроснабжения космических аппаратов, и алгоритмов управления ими. **Осипов Александр Владимирович** – доктор технических наук, сфера научных интересов и тематика научных работ Осипова Александра Владимировича связаны с исследованиями и разработкой новых топологий схем силовых полупроводниковых резонансных преобразователей электроэнергии аккумуляторных и солнечных батарей в составе систем электроснабжения космических аппаратов, а также алгоритмов управления ими. В федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук» лабораториях № 40 «Интеллектуальных систем управления

и моделирования» и № 82 «Моделирования и управления в больших системах», а также в Центре интеллектуальной цифровой электроэнергетики активно занимаются исследованиями в области интеллектуального управления энергетическими системами, разработкой методов, алгоритмов и общей теории для моделирования, оценки устойчивости и управления сложными электроэнергетическими системами.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая аналитическая методика настройки параметров регулятора с тремя степенями свободы выходного напряжения силовых модулей, а также новая структура регулятора – многовходовой обобщённый интегратор – и методика его настройки;

предложены алгоритмы частотно-избирательного подавления пульсаций напряжения общей шины системы электроснабжения космического аппарата, возникающие из-за пульсаций тока нагрузки, и частотно-избирательного распределения тока нагрузки между параллельно соединёнными по выходу силовыми модулями;

доказана перспективность применения разработанных автором структуры системы управления и алгоритмов управления в системах электроснабжения с высокими требованиями к качеству стабилизации напряжения общей шины;

новых терминов или понятий не введено.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения разработанных автором алгоритмов управления модульной системой электроснабжения космического аппарата, обеспечивающих снижение негативного влияния пульсаций тока нагрузки на качество стабилизации напряжения общей шины, а также равномерное распределение тока нагрузки между силовыми модулями;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы усреднения переменных в пространстве состояний и линеаризации

математических моделей, экспериментального исследования, элементы теории цифровой обработки сигналов;

изложены положения, направленные на разработку математических моделей силовых модулей и включающей их модульной системы электроснабжения космического аппарата с целью структурно-параметрического синтеза системы и алгоритмов управления ими, а также методика и результаты структурно-параметрического синтеза иерархической распределённой системы управления;

раскрыта проблема невозможности обеспечения максимального значения амплитудно-частотной характеристики импеданса общей шины системы электроснабжения с иерархической распределённой системой управления ниже общего коэффициента статизма;

изучены зависимости амплитудно-частотной характеристики выходного импеданса силовых модулей и импеданса общей шины системы электроснабжения от параметров и структуры иерархической распределённой системы управления системой электроснабжения;

проведена модернизация структуры и параметров классической иерархической распределённой системы управления системой электроснабжения с регуляторами с одной степенью свободы с целью обеспечения значения амплитудно-частотной характеристики импеданса общей шины ниже общего коэффициента статизма.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены: методика структурно-параметрического синтеза регуляторов системы управления энергопреобразующей аппаратуры космического аппарата (ЭПА КА) и методика измерения и анализа частотных характеристик ЭПА КА и её системы управления использована специалистами АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» при проектировании опытного образца ЭПА КА в рамках выполнения СЧ ОКР «ИБИС-КА-СЭП-ИСС», а также результаты диссертационного исследования внедрены и используются в учебном

процессе ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» при реализации программ повышения квалификации: «Синтез микропроцессорных систем автоматического регулирования устройств силовой электроники», «Реализация встраиваемых систем управления вторичными источниками электропитания на базе микроконтроллеров реального времени», «Специальные алгоритмы управления преобразователями постоянного напряжения»;

определены перспективы дальнейшего практического использования результатов диссертационного исследования для модульных систем электроснабжения космического аппарата с многобортовой или пространственно распределённой архитектурой;

создана аналитическая методика, которая позволяет пошагово синтезировать иерархическую распределённую систему управления модульной системой электроснабжения космического аппарата с целью достижения заданного максимума и формы амплитудно-частотной характеристики импеданса общей шины постоянного тока, и программная реализация регулятора с тремя степенями свободы и многовходового обобщённого интегратора, которая может быть использована в программном обеспечении микропроцессорных систем управления силовыми модулями систем электроснабжения космических аппаратов;

представлены методические рекомендации по определению структуры и численных параметров регуляторов иерархической распределённой системы управления модульной системой электроснабжения космического аппарата.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением сертифицированного измерительного оборудования и характеризуются удовлетворительной воспроизводимостью и согласуются с результатами расчетов;

теория построена на известных, проверяемых данных, и согласуется с авторскими и опубликованными экспериментальными данными по теме

диссертации, а также на известных положениях математического анализа и основ электротехники;

идея базируется на анализе и развитии структурно-параметрического синтеза иерархических распределённых систем управления силовыми преобразователями применительно к решению прикладных задач повышения качества стабилизации напряжения общей шины систем электроснабжения модульных космических аппаратов;

использованы сравнения авторских экспериментальных и теоретических данных с данными экспериментальных и теоретических исследований, полученными ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение результатов, полученных автором с использованием разработанных математических моделей с результатами, полученными при проведении физического эксперимента, что дает основание считать разработанные математические модели эффективными;

использованы современные методы сбора и обработки исходной информации, полученной в результате математического моделирования, а также физического эксперимента с использованием современного контрольно-измерительного оборудования и специализированного программного обеспечения.

Личный вклад соискателя состоит в решении поставленных задач диссертационного исследования, а именно в проведении математического моделирования, разработке методики структурно-параметрического синтеза, алгоритмов управления, программного обеспечения и макетного образца системы электроснабжения с последующей практической верификацией результатов и обработкой экспериментальных данных, а также в личной апробации результатов диссертационного исследования на международных и всероссийских научно-технических конференциях, конкурсах и выставках, а подготовка основных публикаций выполнена при участии автора, вклад автора в подготовленные публикации по теме диссертации составляет не менее 70%.

Все результаты, приведенные в диссертации, получены либо самим соискателем, либо при его участии.

В ходе защиты работы были высказаны следующие критические замечания: в работе недостаточно раскрыто за счёт чего при применении распределённого управления системой электроснабжения космического аппарата улучшается её безотказность, а также замечание, что не продемонстрировано сравнение качества стабилизации напряжения общей шины с классическими решениями. Соискатель ответил по первому замечанию, что в рассматриваемой системе управления каждый силовой модуль управляется независимо, а между собой они соединены коммуникационной сетью топологии типа «кольцо». Такая топология обладает важным свойством сохранения связности при отказе одного из силовых модулей, позволяя системе электроснабжения сохранять работоспособность при единичном отказе, что от неё и требуется согласно известным стандартам космической отрасли. На второе замечание соискатель представил осциллограммы отклонений напряжения общей шины от его номинального значения в одном масштабе до и после введения предлагаемых в диссертации решений, тем самым наглядно демонстрируя существенный эффект улучшения качества стабилизации напряжения (уменьшения отклонения напряжения).

Диссертация Севостьянова Никиты Алексеевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи по улучшению динамических показателей качества стабилизации напряжения общей шины систем электроснабжения космических аппаратов с иерархической распределённой системой управления и реализующих их устройств, имеющей значение для электротехнической отрасли, и соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор Севостьянов Н. А., заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

На заседании 17 октября 2024 года диссертационный совет принял решение за разработку новых научно-обоснованных технических решений, имеющих важное значение для электротехники, связанных с улучшением качества стабилизации напряжения общей шины модульных систем электроснабжения космических аппаратов с распределённым управлением, присудить Севостьянову Н. А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: «за» - 16, «против» - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертаци
д.т.н., доцент
Ученый секретарь диссер
к.т.н., доцент

С.В. Брованов

М.А. Дыбко

17 октября 2024 г.