

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной

Институт проблем

Э. А. Трапезникова

и наук» (ИПУ РАН)

к.ф.-м.н.

Барабанов И.Н.

И.Н. Барабанов 2024 г

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук» на диссертацию Севостьянова Никиты Алексеевича на тему «Модульная система электроснабжения космического аппарата с распределённым управлением», представленную к защите в диссертационном совете 24.2.347.07 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении «Новосибирский государственный технический университет» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность научной работы

Последние несколько лет развития космической отрасли часто называют второй «космической гонкой», тем самым подчёркивая масштабность происходящих изменений. Изменения обусловлены ростом коммерческого спроса на искусственные спутники для организации систем связи и интернета, контроля космического пространства, дистанционного зондирования Земли и др., что в свою очередь приводит к необходимости организации массового дешёвого производства спутников. Одной из критически важных подсистем спутников является система электроснабжения (СЭС), которая во многом определяет их массу, габариты и надёжность.

Массовое конвейерное производство требует быстрых процессов перепроектирования, прототипирования, испытания, сборки и наладки как самого спутника, так и всех его подсистем. При производстве централизованных систем управления СЭС спутников многие их элементы не являются унифицированными, а следовательно, трудно поддаются конвейерному производству и тем самым снижают общую эффективность производства спутников.

Таким образом, модификация централизованных систем управления СЭС спутников с целью их унификации для конвейерного производства является важной задачей, что подтверждает актуальность исследований, выполненных в рамках диссертационной работы Севостьянова Н.А.

Характеристика содержания работы

Диссертационная работа включает в себя введение, три главы, заключение, список терминов, список литературы из 131 наименования и четыре приложения. Работа содержит 123 страницы, 39 рисунков и 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования и перечислены задачи, которые необходимо решить для её достижения, раскрыта научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы и публикациях по теме работы.

Первая глава диссертационной работы посвящена развёрнутому анализу современного состояния области СЭС КА и степени разработанности тематики управления ими. Акцентируется внимание на достоинствах и недостатках различных архитектур и конфигураций СЭС КА, а также архитектур систем управления СЭС КА.

Во второй главе проводится математическое моделирование силовых модулей как основных энергопреобразующих компонентов СЭС КА. Полученные математические модели исследуются, после чего на их основе производится структурный и параметрический синтез регуляторов выходных токов и выходных напряжений силовых модулей и напряжения общей шины СЭС КА. В результате синтеза формируются новые структуры регуляторов: регулятор с тремя степенями свободы и многоходовой обобщённый интегратор, — которые позволяют существенно уменьшить отклонения напряжения общей шины от заданного значения.

В третьей главе описывается лабораторный стенд СЭС и проведённое на нём экспериментальное исследование. Посредством ряда экспериментов автор подтверждает гипотезы, сформулированные им во Введении в виде положений, выносимых на защиту, и демонстрирует эффективность предложенных им решений поставленной научной задачи.

Научная новизна и практическая ценность работы

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, обладают научной новизной. Диссертация содержит новые модели, методы и экспериментальные результаты, позволяющие улучшить динамические показатели качества стабилизации напряжения

общей шины СЭС КА. В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

Впервые обнаружена причина низкого качества напряжения общей шины СЭС с иерархической распределённой системой управления с контролем статизма, из-за которой невозможно обеспечить импеданс общей шины ниже общего коэффициента статизма – осуществление контроля статизма с помощью регулирования с одной степенью свободы – ошибкой регулирования.

Проведён параметрический синтез регулятора выходного напряжения СМ с тремя степенями свободы: уставка выходного напряжения, выходные ток и напряжение СМ – позволяющий задать разное быстродействие системы управления при регулировании выходного напряжения СМ и при контроле статизма, что позволяет обеспечить импеданс общей шины ниже общего коэффициента статизма.

Предложена структура многовходового обобщённого интегратора, особенностью которого является возможность индивидуального формирования фазового сдвига для каждого входного воздействия. Интегратор позволяет уменьшить пульсации напряжения, не искажая частотные характеристики системы вблизи собственной частоты, сохраняя устойчивость и не возбуждая интергармонические колебания.

Предложен алгоритм частотно-избирательного токораспределения, построенный на идее регулирования модуля выходного импеданса СМ на собственной частоте многовходового обобщённого интегратора дополнительной цепью отрицательной обратной связи с током нагрузки СМ. Способ позволяет распределить гармонические составляющие тока между СМ в заданной пропорции, снижая рассогласование нагрузки.

Практическая значимость полученных результатов диссертационной работы подтверждается их использованием при выполнении составной части опытно-конструкторской работы «ИБИС-КА-СЭП-ИСС» в АО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнёва»; программы развития ФГБОУ ВО «НГТУ» на 2021-2030 гг. в рамках федеральной программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030»; ФЦП № 14.577.21.0198 «Разработка и исследование бортовой энергопреобразующей аппаратуры с микропроцессорной системой управления и мониторинга космических аппаратов систем связи, дистанционного зондирования Земли и геодезии»; договора № 1825730101142217000241754/2430/21-ЕП-732/РМ «Рабочее место математического моделирования энергопреобразующей аппаратуры космических аппаратов»; гранта Президента РФ № МК-1676.2020.8 «Разработка адаптивных алгоритмов управления распределёнными энергосистемами с открытой архитектурой»; гранта ФГБОУ

ВО «НГТУ» № С21-21 «Синтез алгоритмов цифрового управления модульной системой электропитания космических аппаратов».

Также следует отметить, что результаты диссертационной работы использовались в учебном процессе ФГБОУ ВО «НГТУ» при реализации программ повышения квалификации.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами экспериментального исследования, а также широким обсуждением результатов диссертации на конференциях, заседаниях кафедры и научных семинарах.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Направления исследований, формулировки проблем и постановки задач обсуждались с научным руководителем Харитоновым С.А. и консультантом Горбуновым Р.Л., что отражено в совместных публикациях, в которых основные результаты и их доказательства принадлежат автору.

Полнота опубликования и апробации результатов исследования

Материалы, отражающие основные результаты диссертационной работы, опубликованы в сборниках научно-технических конференций и в журналах отрасли. Всего опубликовано 15 работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 — в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus.

Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации её содержанию

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат адекватно и в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит краткое изложение материалов диссертационной работы по главам и полностью соответствует содержанию самой диссертационной работы. В автореферате выделены все решаемые в каждой главе задачи и представлены научные результаты.

Замечания по диссертации

1. Для проведения экспериментального исследования в работе использовалось только два силовых преобразователя, что может ограничивать общность полученных результатов и выводов. Было бы желательно провести эксперименты с большим числом преобразователей, чтобы убедиться, что полученные результаты и выводы можно экстраполировать на системы с большим числом преобразователей.
2. В диссертации не приведено достаточно информации, чтобы обосновать, почему для моделирования силового полупроводникового преобразователя были выбраны методы усреднения и линеаризации. Было бы полезно обсудить, какие дополнительные допущения были при этом использованы, и может ли это привести к ограничению общности полученных выводов.
3. Не приводятся оценки точности математических моделей, предложенных в главе 2 диссертации. Было бы полезно понимать величину ошибки применяемых линеаризованных моделей.
4. В экспериментальных исследованиях отсутствует сравнение с результатами других исследователей, решавших похожие задачи, из-за чего трудно оценить эффективность предлагаемых методов повышения качества стабилизации напряжения. Включение таких данных, а также рассмотрение возможных практических трудностей, таких как влияние помех и аварийных ситуаций, позволило бы лучше оценить перспективы практического применения предложенных методов.

Заключение

Отмеченные недостатки не могут повлиять на общую положительную оценку диссертационной работы Севостьянова Н.А. Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача улучшения динамических показателей качества стабилизации напряжения общей шины системы электроснабжения космического аппарата с иерархической распределённой системой управления путём её структурной и параметрической модификации.

Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Основные научные результаты диссертации широко апробированы как на российских, так и на международных конференциях и семинарах и достаточно полно опубликованы в ведущих российских и международных изданиях. Название работы полностью отражает её содержание. Содержание диссертации соответствует пунктам 2, 3,

4 паспорта специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы». Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации и основные результаты автора.

На основании изложенного считаем, что диссертация Севостьянова Н. А. «Модульная система электроснабжения космического аппарата с распределённым управлением» отвечает всем критериям, установленным пунктами 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, ред. от 25.01.2024 года, а её автор Севостьянов Никита Алексеевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены 19 сентября 2024 г. на заседании совместного семинара лабораторий №40 Интеллектуальных систем управления и моделирования, №82 Моделирования и управления в больших системах и №37 Систем с разрывными управлениями ФГБУН Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Старший научный сотрудник,

И.о. Заведующего лабораторией «Моделирования и управления в больших системах»,

кандидат физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)

Искаков Алексей Борисович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН).

Адрес: Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

Телефон: +7 495 334-89-10

E-mail: dan@ipu.ru

Сайт: <http://www.ipu.ru>

Отзыв получен 01.10.2024
Искаков
с отзывом согласен 07.10.2024
Севостьянов Н.А.