

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Рекутова Олега Геннадьевича** на тему **«Разработка и исследование способа формирования вольт-амперной характеристики имитатора батареи солнечной для испытания систем электроснабжения космических аппаратов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.4.1 – «Теоретическая и прикладная электротехника»**

Актуальность темы

Успех выполнения космическим аппаратом (КА) своей миссии зависит от множества факторов, одним из которых является надежная работа системы электроснабжения (СЭС). Солнечная батарея (СБ) выполняет роль первичного источника электрической энергии СЭС.

Отправке КА в космос предшествуют наземные комплексные испытания СЭС КА с целью оценки ее соответствия техническому заданию и надежности. При наземных испытаниях нецелесообразно использовать штатные СБ по техническим и экономическим причинам. Для этой цели в качестве адекватной замены используется имитатор батареи солнечной (ИБС). В рецензируемой диссертационной работе Рекутова О.Г. поставлена и решается важная научно-техническая задача разработки и исследования способа формирования вольт-амперной характеристики (ВАХ) ИБС с использованием комплексного подхода к построению силовой части энергопреобразователя и модификации системы управления для повышения точности воспроизведения заданной ВАХ при наземных испытаниях СЭС КА. Автор решает задачу при помощи анализа известных подходов к разработке ИБС и представляет ряд решений, связанных с разработкой структуры, математических моделей силовой части и систем управления с последующим макетированием. Приближение ИБС по своим характеристикам к реальной солнечной батарее определяет успешность наземных испытаний. Отсюда становится очевидным актуальность темы диссертационной работы.

Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 125 наименований. Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунка, 5 таблиц, 2 приложения.

Содержание работы

Во введении аргументирована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи работы. Представлена научная новизна и практическая значимость проделанной работы и перечислены положения, выносимые на защиту. Представлены сведения о реализации результатов исследования и их апробации.

В первой главе приведено обоснование требований, предъявляемых к ИБС. Представлена классификация ИБС и проведен аналитический обзор существующих подходов к проектированию ИБС.

В качестве перспективной определена концепция проектирования ИБС как малоинерционного источника тока с использованием обводного канала в структуре.

Во второй главе показана функциональная схема предложенного ИБС. Разработаны математические модели существующих СБ в среде Matlab/Simulink. Представлено описание аналитической модели силовой части ИБС, на основе которой разработана математическая модель ИБС в среде Matlab/Simulink. Проведено сравнение сформированных ВАХ ИБС и СБ. Результаты моделирования позволяют сделать выводы об адекватности модели ИБС на соответствие модели СБ.

В третьей главе дано представление о высоких частотных характеристиках СБ при работе на динамическую нагрузку. С учетом актуальности данного фактора, автор описывает разработанные способы повышения частотных характеристик ИБС. Описывается модификация системы управления по принципу релейного регулятора, где параллельно составляющей основного ПИД-регулятора дополнительно введена программно-аппаратная составляющая системы управления с приоритетом работы при динамическом изменении нагрузки. Данная модификация позволяет в определенной степени нивелировать эффект инерционности работы ПИД-регулятора.

Далее автор переходит к описанию следующей модификации системы управления с введением дополнительной положительной обратной связи сигнала отношения выходного напряжения к входному. Это уменьшает временной отклик системы управления на возмущающее воздействие и повышает частотные характеристики.

Также автором в качестве дальнейшей перспективы описана работа цифровой системы управления, что позволит получить такое ее преимущество работы как адаптивность.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям подтверждающим соответствие ИБС предъявляемым к нему требованиям.

Проведено сравнение модулей импеданса для ИБС выступающего как в качестве источника тока, так и источника напряжения для расчетных и экспериментальных значений в соответствии участкам тока и напряжения ВАХ ИБС.

Применена методика определения выходной емкости ИБС и выполнено сравнение с расчетной.

Выполнены характерографические исследования, предназначенные для определения статической точности формируемой ВАХ ИБС и анализа возможных аномалий в работе.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют говорить о соответствии ИБС предъявляемым к нему требованиям.

В заключении сформулированы основные результаты работы, полученные при выполнении теоретических и экспериментальных исследований. Результаты численных и физических экспериментов подтверждают достоверность и теоретическую обоснованность выводов.

Оценивая изложенное, считаю, что **основными научными и наиболее важными практическими результатами работы** являются:

- предложенная структура имитатора батареи солнечной космического аппарата, которая представляет имитатор как малоинерционный источник тока с новой системой управления, что обеспечивает повышение точности ВАХ и в перспективе дает возможность увеличить предел мощности ИБС;

- разработанные математические модели ИБС, позволяют исследовать с достаточной точностью статические и динамические процессы в системе;

- разработанные модификации системы управления, позволяющие уменьшить пульсации тока короткого замыкания при динамическом изменении нагрузки и тем самым повысить частотные характеристики ИБС;

- оригинальные технические решения, реализующие разработки автора и защищенные патентами Российской Федерации.

Содержание диссертации достаточно полно опубликовано в 24-х научных работах, в том числе в семи публикациях в изданиях, входящих в перечень ВАК для кандидатских диссертаций, двух патентах РФ на

изобретения, пяти патентах на полезные модели, трёх статьях в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science и двух свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Замечания по работе

1. Автор формулирует предмет исследования как «ИБС, включающий алгоритмические и схемотехнические решения», хотя, по моему мнению, предметом исследования являются способы и технические решения формирования вольт-амперной характеристики ИБС.

2. Формулировка п. 4 Положений, выносимых на защиту, стилистически выпадает из стилистики предыдущих пунктов.

3. Стр. 15 и 16: уравнения балансов токов не могут быть положительными или отрицательными, таковыми могут быть именно балансы.

4. В подразделе 3.2 для имитатора батареи солнечной с модифицированной системой управления с введением дополнительной обратной связи и 3.3 для имитатора с цифровой системой управления было бы правильным показать осциллограммы тока и напряжения выхода ИБС сравнив их с осциллограммами других ИБС по аналогии с подразделом 3.1.

5. При определении модуля импеданса для участка тока в диапазоне частот 90 – 1000 Гц расчетное значение модуля импеданса практически неизменно (рис. 4.4), из чего следует, что доля реактивной составляющей незначительна. При этом величины измеренных значений существенно отличаются от расчетных (на величину около 15 Ом). Вызвано ли данное отличие разницей в активных составляющих измеренных и расчетного значений модуля импеданса автор не поясняет.

6. В главе 4 при расчете емкости выхода ИБС автор выбирает значение тока заряда равным 2 А, тогда как меньшее значение тока позволяет определить емкость с большей точностью. Почему не было выбрано меньшее значение тока автор не уточняет.

Общее заключение о соответствии выполненной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Отмеченные недостатки не снижают научных достоинств диссертации. Полученные в диссертации результаты обладают новизной и представляют научный и практический интерес.

Диссертация может квалифицироваться как содержащая новое решение научно-технической задачи, имеющей существенное значение для космической отрасли.

Диссертационная работа Рекутова Олега Геннадьевича «Разработка и исследование способа формирования вольт-амперной характеристики имитатора батареи солнечной для испытания систем электроснабжения космических аппаратов» является завершённым научным исследованием, и соответствует требованиям, установленным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г. (ред. 18.03.2023) в части, касающейся кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.4.1– «Теоретическая и прикладная электротехника».

Официальный оппонент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика»
Политехнического института Сибирского федерального университета,
д.т.н., профессор



Пантелеев Василий Иванович

09.11.2023 г.

Адрес: 660074, г. Красноярск, ул. акад. Киренского, д.26

E-mail: vpanteleev@sfu-kras.ru

Тел.: 8-(391)-2912063

Подпись Пантелеева В.И. заверяю.

Учёный секретарь СФУ



Макарчук И.Ю